ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

---

VOLUMEN XI Abril 1952 NUMERO 42

SUMARIO

Editorial: Leonardo de Vinci, científico 59

In Memoriam: Allan Ferguson (1880–1951) 60

539.16/.18
Substancias radiactivas producidas en la pila y sus aplicaciones — W. J. ARROL — 61

576.8.097.3:576.858.9
Las bacterias lisógenas (1) — ANDRÉ LWOFF — 72

575.113.3.061.6:636.2
Gemelos idénticos en el ganado y herencia del color — JOHN HANCOCK — 78

615.849:615.31:623.459:591.1.044
Efectos de las radiaciones y de las drogas radiomiméticas — E. BOYLAND — 87

678.01:539.5
La goma natural — L. R. G. TRELOAR — 92

581.143.01(091)
El estudio del desarrollo y formas vegetales — C. W. WARDLAW — 97

049.3
Revista de libros 106

Libros recibidos 111

Notas sobre los colaboradores 112

Redactor-jefe: E. J. HOLMYARD
Redactor auxiliar: TREVOR I. WILLIAMS
Ediciones extranjeras: J. A. WILCKEN

Imperial Chemical Industries Limited, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a 26 Dover Street, Londres, W.1

Leonardo de Vinci, científico

En este mes se cumple el quinto centenario del nacimiento de Leonardo de Vinci; ello nos brinda ocasión oportuna para rendir el debido homenaje al que pudo muy bien disputarle a Aristóteles el honor de haber sido «*maestro di color che sanno*». Un admirador entusiasta de Leonardo de Vinci, y lector de ENDEAVOUR, el Profesor Siro Taviani, nacido en Vinci también, nos ha enviado un relato histórico de los aspectos más notables de la vida del gran científico y artista, y de este estudio documentado y completo, aunque breve, hemos tenido el gusto de resumir una parte, que sirve de base al presente editorial.

Lo que otorga a Leonardo su destacada posición en la historia del progreso humano es la combinación de su genio artístico con su excepcional perspicacia científica y con una fertilidad de ideas que le condujo no sólo a descubrir problemas inadvertidos para otros, sino también a resolverlos con frecuencia, apenas se los había planteado. Sus intereses — casi todos de tipo intelectual — abarcaban una amplia esfera, y todo lo que él estudió se hizo más claro.

La actitud de Leonardo en el campo científico era racionalista. Consideraba la experiencia de los sentidos como la base de todo conocimiento, pero añadía que tal experiencia debía ser organizada posteriormente por el intelecto: los resultados de la observación y de los experimentos abrían el camino para la reflexión racional. Comprendía la importancia de la exactitud matemática, y aceptó el principio de causalidad en el sentido generalmente adoptado por los hombres de ciencia ulteriores. Su espíritu científico se reveló también en su resistencia a formular conclusiones generales sobre datos insuficientes.

En la esfera de la astronomía se atribuye a Leonardo el mérito de haberse anticipado a Copérnico, gracias principalmente a una nota suya, conservada en la Biblioteca Real de Windsor, que dice así: «el sol permanece inmóvil». Esta base es demasiado frágil para que resulte convincente, pero no hay duda de que Leonardo reveló cierta intuición de determinados hechos astronómicos descubiertos siglos más tarde. Acertó a calcular las dimensiones de la Tierra, y formuló penetrantes hipótesis sobre el tamaño de las estrellas, sobre la luz y el calor del Sol, sobre la luminosidad de los planetas y de la Luna y sobre la relación entre la Luna y la Tierra, llegando con frecuencia a conclusiones exactas. Parece que fué el primero en dar una explicación satisfactoria de la *lux cinerea* de la Luna.

Más importantes fueron sus trabajos sobre mecánica pura y aplicada, que constituyeron siempre el objeto predilecto de sus estudios, y en los que introdujo notables avances originales. Superó considerablemente el conocimiento general de su tiempo en su manera de interpretar la teoría de las palancas y las condiciones de equilibrio sobre un plano inclinado. Demostró dos casos particulares del teorema de Varignon sobre los momentos de fuerzas concurrentes, siendo capaz de resolver así, numéricamente, el problema de la composición y resolución de fuerzas. Se interesó por los sistemas de poleas fijas y móviles, llegando a comprender el principio del trabajo virtual. Formuló con exactitud casi perfecta la ley de la inercia; tuvo una idea clara del principio de la acción y la reacción; descubrió que la velocidad de un cuerpo que cae sin obstáculos crece linealmente con el tiempo, y comprendió que era absurdo tratar de producir un movimiento perpetuo.

Leonardo de Vinci hizo una serie de descubrimientos fundamentales en hidrostática. Descubrió, por ejemplo, la igualdad de la presión de un líquido en todas las direcciones, 150 años antes de que este principio fuese restablecido por Pascal; bosquejó las leyes de la presión de un líquido en vasos comunicantes, y conoció la llamada «paradoja hidrostática», atribuída a Stevinus (1548–1620). Se mostró también bastante informado sobre las condiciones del equilibrio de los líquidos de diferentes densidades, contenidos en el mismo recipiente; la presión ejercida por los líquidos sobre las paredes laterales de su continente; la pequeña compresibilidad del agua; los fenómenos de la capilaridad, y las propiedades de los sifones.

La inquieta imaginación de Leonardo se sintió atraída por otras ramas de la física, particularmente la óptica. Investigó la estructura del ojo; explicó la función del cristalino y del iris; apreció la importancia del eje óptico, y comprendió el principio de la visión estereoscópica. Atribuyó la formación de las imágenes en la retina al mismo principio que opera en una cámara oscura, acerca de la cual dió la primera explicación clara y precisa (aunque este aparato era ya conocido desde hacía varios siglos). Leonardo estudió también la reflexión de la luz en las superficies planas y esféricas,

las lentes y su aplicación, y observó que una esfera de cristal llena de agua produce imágenes invertidas, que pueden ser enderezadas de nuevo mediante una segunda esfera.

Para nuestro tiempo, las investigaciones más interesantes de Leonardo son, tal vez, las referentes al vuelo. Este tema le fascinaba, y previó claramente la posibilidad de construir máquinas voladoras. En su códice sobre el vuelo de las aves describe varios anemómetros de su invención; la disposición, elasticidad y resistencia de las plumas de un ala, y el movimiento de las alas en las diversas fases del vuelo. Prestó atención al problema de la fuerza de alzamiento; a la función del centro de gravedad en el vuelo de las aves y de las máquinas, y a las condiciones del planeo, a favor y en contra del viento. Leonardo sabía cómo había que emplear una hélice para la propulsión de una máquina volante, y nos ofrece el primer dibujo conocido de un paracaídas.

El interés de Leonardo por la física no se limitó a la ciencia pura, sino que se extendió a sus aplicaciones en los campos de la ingeniería civil y militar; partiendo siempre de los conceptos teóricos, para llegar a su realización prática. Sus ideas y sus inventos se refieren algunos al saneamiento de barriadas pobres y a proyectos de urbanización, y otros a la construcción de grúas giratorias, escaleras movibles, telares mecánicos, bombas, dragas flotantes, aparatos de transmisión por cadena, puentes de barcas y artilugios para levantar cañones pesados.

Después de lo dicho, parecerá tal vez increíble que Leonardo tuviera tiempo para explorar otras esferas del conocimiento, pero también realizó amplias investigaciones en las ciencias biológicas, y particularmente en anatomía. Sus bellos dibujos anatómicos muestran el cuidado con que estudió el esqueleto humano, las articulaciones y los músculos. El conjunto de músculos que regulan el ventrículo derecho del corazón lleva todavía su nombre. Leonardo, artista, tenía que interesarse especialmente por las expresiones faciales, y dibujó con precisión los músculos miméticos que las producen.

Esta reseña, necesariamente incompleta, del trabajo científico de Leonardo bastaría para probar su profunda inteligencia y su prodigiosa actividad; pero, cuando recordamos que este hombre fué, además, uno de los más grandes artistas de todos los tiempos, nos quedamos realmente maravillados de que «una pequeña cabeza pudiera contener todo lo que él sabía».

Los innumerables escritos y dibujos de Leonardo de Vinci están esparcidos por las principales bibliotecas de todo el mundo; y a todos ha de causar satisfacción saber que, bajo los auspicios del Gobierno italiano, se están coleccionando reproducciones de todos ellos, para formar un *Corpus Vincianum* completo.

In memoriam: Allan Ferguson (1880–1951)

Tenemos el sentimiento de anunciar la muerte del Dr. Allan Ferguson, ocurrida poco después de entrar en prensa nuestro número de Enero de 1952. Ferguson fué uno de los miembros originarios del grupo asesor de la revista ENDEAVOUR, a la que ayudó extraordinariamente con su consejo y con su esfuerzo. Hombre de gran cultura — su biblioteca particular de unos 12 000 volúmenes certifica la universalidad de sus conocimientos — se interesó especialmente en el estilo literario de ENDEAVOUR. Muy querido de todos los miembros de la redacción y del consejo directivo de nuestra revista, su muerte significa para nosotros una gran pérdida.

Ferguson fué Profesor de física en la Universidad de Londres (Queen Mary College), dirigió la revista *The Philosophical Magazine*, y desde 1936 hasta 1946 fué Secretario General de la *British Association for the Advancement of Science*. Fué Secretario (1928–38) y luego Presidente (1938–41) de la *Physical Society*, y actuó como Director Consejero de varias publicaciones científicas, a las que prestó valiosa ayuda con su agudo sentido crítico. Murió apaciblemente el 9 de noviembre de 1951.

Substancias radiactivas producidas en la pila y sus aplicaciones

W. J. ARROL

Esquema de los procesos de fisión nuclear, especialmente del bombardeo neutrónico, para la producción de substancias radiactivas puras, y de los procedimientos para el manejo y transporte de dichos materiales, con referencia especial al trabajo ordinario en Harwell, Inglaterra. Contadores y otros instrumentos de medición de la radiactividad, basados en la ionización gaseosa, el centelleo de substancias fluorescentes y los efectos fotográficos. Preparación de elementos trazadores radiactivos — P^{32}, I^{131}, C^{14} — y sus aplicaciones en los estudios del metabolismo, fotosíntesis y otros problemas bioquímicos, en las pruebas no-destructivas, en las mediciones del espesor de láminas o capas, en la dispersión de la electricidad estática, y en la localización de grietas en la armadura de cables.

Para la finalidad de este artículo consideraremos la pila, que consiste en una estructura de grafito y uranio, simplemente como una gran fuente de neutrones encerrada en una coraza de hormigón, dentro de la cual se colocan las substancias para su irradiación y de la cual se retiran convertidas en radiactivas. La cara norte de la pila aparece en la Fig. 5. Los isótopos se retiran por un puente que contiene un canal forrado de plomo. Los recipientes de aluminio en que se efectúa la irradiación pasan por un tubo flexible a una carretilla de plomo de seguridad.

El núcleo de un átomo-blanco posee una carga positiva igual al número atómico y está rodeado de un número igual de electrones negativos. Cuando se quieren llevar a cabo modificaciones en el núcleo mediante el bombardeo con partículas cargadas, tales como protones, deuterones y partículas α, éstas deben moverse con elevada energía si han de penetrar la capa de electrones y vencer la repulsión electrostática entre el núcleo y ellas mismas. Los neutrones, por otra parte, no poseen carga alguna y pueden pasar fácilmente hasta el núcleo a pesar de moverse despacio. Son especialmente útiles como agentes inductores de reacciones nucleares.

La reacción nuclear más común obtenida con neutrones es aquella en que el neutrón es absorbido por el núcleo bombardeado con emisión de un rayo γ. Se la designa por (n,γ). Así, la formación de sodio 24 partiendo de sodio 23 se representa por $Na^{23}(n,\gamma)Na^{24}$. No ocurre ningún cambio en la carga del núcleo y el núcleo del producto resultante es químicamente el mismo que el del blanco. Un ejemplo es la preparación del cloruro de sodio radiactivo, en el cual el sodio se convierte parcialmente en sodio 24 con una vida-media de 15 horas. Generalmente el cloruro de sodio se irradía en la pila bajo un flujo elevado de neutrones durante varios días. Presenta un color marrón, que desaparece si se calienta la substancia o se la disuelve en agua. Además de la actividad Na^{24} producida, se induce en el cloro una actividad efímera debida a la reacción $Cl^{37}(n,\gamma)Cl^{38}$, así como cantidades negligibles de otras actividades. Cuando el Cl^{38} ha degenerado tenemos una muestra de una sal químicamente igual que antes pero con un sodio «etiquetado» con Na^{24}. Puede disolverse en agua para formar una solución isotónica con la sangre, esterilizarse y emplearse para fines medicinales [1].

Al emitirse los rayos γ en el proceso (n,γ) el átomo acabado de formar retrocede en dirección opuesta con suficiente energía para separarse de la combinación química en que estaba incorporado. La forma química que finalmente adopta puede ser completamente distinta. En el caso de una red iónica tal como el cloruro de sodio, el Na^{24} se mueve en la red pero continúa siendo un ion y cuando la sal irradiada se disuelve en agua no puede distinguirse de los iones ordinarios Na^{23}. La preparación de un compuesto etiquetado de la forma deseada por la simple irradiación del compuesto idéntico en la pila es más bien la excepción que la regla. El mejor procedimiento consiste en usar como blanco substancias elementales o compuestos lo más simples posible y convertir luego la substancia activa en la forma química deseada.

Pueden inducirse mediante neutrones varias reacciones nucleares en las cuales el neutrón es absorbido en el núcleo del átomo-blanco con

emisión de una partícula cargada. Tales reacciones son las (n,p) y (n,α), en que se emite un protón y una partícula α respectivamente. En estos casos la carga del núcleo cambia, de manera que el núcleo resultante difiere químicamente del núcleo-blanco, y la substancia radiactiva debería ser teóricamente separable sin que esté presente ningún isótopo inactivo. En la práctica no es por lo general posible preparar tal substancia verdaderamente libre de agente portador, y este término debe emplearse con ciertas reservas. No obstante, dicho término implica que la substancia es de actividad específica muy elevada.

Otros procesos nucleares empleados para la preparación de substancias libres de agentes portadores son: (*a*) los procesos (n,β) en los cuales el producto es radiactivo y su actividad β declina hasta el átomo radiactivo deseado, y (*b*) los procesos de fisión. La fisión del uranio 235 produce numerosas especies radiactivas que son químicamente distintas del uranio. Pueden prepararse con una actividad específica muy elevada. Un tercer método de preparación de substancias de elevada actividad específica que no están, sin embargo, libres de agente portador, es el proceso de Szilard-Chalmers, en el cual se utiliza el retroceso de un átomo recientemente formado por los rayos γ en el proceso (n,γ) [2]. Si, por ejemplo, irradiamos hierro en su forma química de ferrocianuro potásico, los átomos de hierro que experimentan un retroceso, se separarán del ion ferrocianuro y una gran proporción de los mismos aparecerá como hierro férrico, el cual puede separarse del resto del ferrocianuro y obtenerse con una actividad específica cerca de mil veces mayor que la inducida por irradiación del hierro elemental [3].

PRECAUCIONES CONTRA LAS RADIACIONES

Las substancias radiactivas degeneran según procesos diferentes pero el más corriente en las substancias producidas en la pila es por emisión de partículas β o electrones de elevada energía. Las partículas β van frecuentemente acompañadas por rayos γ, los cuales son de igual naturaleza que los rayos X pero, generalmente, con mayor energía. Las partículas α, que consisten en núcleos de helio cargados positivamente, por lo común los emiten sólo los elementos más pesados.

La unidad de radiactividad es el curie, que se define independientemente del modo de desintegración del radioelemento en cuestión, y que es la cantidad de substancia radiactiva que experimenta $3{,}7 \cdot 10^{10}$ desintegraciones por segundo. Esto equivale aproximadamente a la velocidad de desintegración de un gramo de radio y representa una cantidad de substancia radiactiva que, cualquiera que sea la naturaleza y energía de las desintegraciones consideradas, debe tratarse con mucho cuidado.

Generalmente se necesita una protección contra las radiaciones de las substancias radiactivas, debido a sus efectos sobre los tejidos vivos en general y sobre el cuerpo humano en particular. Los efectos deletéreos de las radiaciones ionizantes sobre el cuerpo son bien conocidos, gracias a la experiencia adquirida durante los primeros tiempos de los rayos X y de la radioterapia. Ha sido posible fijar las dosis máximas de radiación que pueden recibirse por los manipuladores de substancias radiactivas durante toda su vida sin peligro. A estas dosis se las denomina «toleradas». El blindaje y otras protecciones necesarias para reducir las dosis por debajo del nivel de tolerancia depende de la naturaleza de la fuente y de las radiaciones de la misma [4].

Las partículas α tienen un alcance reducido dentro de la materia. Quedan detenidas por unos pocos centímetros de aire a presión normal y su trayectoria es rectilínea. La protección se consigue generalmente operando dentro de una cámara de Perspex (Fig. 3), y llevando a cabo las manipulaciones con las manos protegidas con guantes de goma. El mayor peligro de las substancias de actividad α radica en la posibilidad de ingestión respiratoria de polvo activo, y se necesitan rígidas precauciones. Pocas son las substancias de actividad α empleadas para fines médicos o industriales.

El alcance de las partículas β en el aire varía considerablemente según su energía. Las de menor energía son absorbidas por unos pocos milímetros de aire a presión normal, mientras que las de energía mayor pueden tener un alcance de varios metros. A diferencia de las partículas α, se difunden fácilmente y una partícula β determinada se moverá en varias direcciones diferentes antes de detenerse finalmente. Incluso los rayos β de gran energía pueden detenerse con una placa de vidrio o de Perspex de un centímetro de espesor y pueden operarse mecánicamente fuentes muy activas detrás de pantallas de tales materiales.

Las radiaciones γ son absorbidas por la materia según una ley exponencial y las fuentes del orden de unos curies deben protegerse con espesores de hasta unos diez centímetros de plomo para reducir así la radiación a un nivel tolerable, dependiendo el espesor de la energía de la radiación. La manipulación de las fuentes de radiación γ detrás de paredes de tal espesor es algo dificultoso.

MEDICION DE LA RADIACTIVIDAD

Muchas de las aplicaciones de las substancias radiactivas dependen de la extrema sensibilidad con que puedan ser medidas. Los átomos de un curie de fósforo 32 realmente libre de agente portador por ejemplo, pesan unos $4 \cdot 10^{-6}$ g, y como es relativamente fácil medir una cantidad de la magnitud de $3 \cdot 10^{-10}$ curies de esta substancia, la masa real del fósforo 32 así determinada es del orden de unos 10^{-15} g. Es también necesario poder medir elevadas actividades del orden de varios curies, especialmente en el caso de fuentes de rayos γ preparadas en la pila.

Los dispositivos de medición se basan en tres efectos producidos por las radiaciones, que son:

1. Ionización de los gases.
2. Efectos de centelleo.
3. Efectos fotográficos.

(1) Al chocar con una molécula en su paso a través de un gas, un rayo α, β o γ libera un electrón de la molécula. Este electrón, cargado negativamente, y el resto de la molécula, que ahora está cargada positivamente, constituyen un par iónico. Si durante el proceso de ionización el gas está bajo un campo eléctrico, los electrones se moverán hacia el polo positivo y los iones positivos hacia el negativo, de forma que a través del gas circula una corriente eléctrica. Esta corriente es proporcional a la intensidad de radiación ionizante.

La medición de la corriente de ionización se emplea directamente en la cámara de ionización (Fig. 4), que es de uso general para mediciones de la radiación γ, y pueden construirse cámaras para cubrir una amplia gama de sensibilidades. Hasta cierto punto pueden también emplearse para detectar los rayos β [5].

Muchas de las primeras mediciones de las fuentes radiactivas se realizaron con el electroscopio de panes de oro. Si el aire de un electroscopio cargado se hace conductor debido a las radiaciones ionizantes de una fuente radiactiva, entonces puede disponerse que la velocidad de descarga entre dos posiciones predeterminadas de las hojas sea proporcional a la energía de la fuente. El electroscopio primitivo era bastante exacto pero de poca sensibilidad. En su forma más moderna, tal como el electroscopio de Lauritsen, en el cual las hojas están substituídas por una delgada fibra de cuarzo dorada, el electroscopio puede ser un medio sensible y exacto [6].

El instrumento más popular y versátil para la medición de pequeñas cantidades de actividad es el contador de Geiger-Müller (G-M). En este caso la ionización del gas debida a una partícula β o un electrón secundario procedente de un rayo γ, se utiliza para precipitar la descarga del contador, siendo la magnitud de la descarga suficiente para actuar el equipo electrónico y ser finalmente registrada mecánicamente. El contador G-M consiste esencialmente en un cátodo cilíndrico, a lo largo de cuyo eje hay estirado un delgado hilo de tungsteno aislado, cargado positivamente respecto al cátodo a unos 1000 voltios. El contador está lleno de un gas apropiado; uno de los más empleados es el argón a una presión de unos 10 cm de mercurio, con un 10% de vapor de alcohol. En las condiciones correctas de gas y voltaje, la aparición de un solo par iónico dentro del cátodo puede iniciar la descarga.

La magnitud de la descarga en el G-M es independiente del número de pares iónicos en la trayectoria de la radiación que la inicia. La energía de la pulsación procede del generador de alta tensión. Cuando la descarga ha alcanzado su máximo debe detenerse lo más pronto posible y reintegrarse el contador a su condición previa, para estar así a punto para el próximo rayo β o γ que le llegue. Esto se realiza con un circuito amortiguador electrónico externo o bien, internamente, por medio de un vapor amortiguador. En el caso de relleno con la mezcla antes indicada, el alcohol actúa como tal. Es práctica moderna emplear un agente amortiguador siempre que sea posible, pero empleando un circuito amortiguador adicional, a fin de que la duración del tiempo de insensibilidad pueda definirse perfectamente y suprimirse así ciertas descargas esporádicas.

El contador está provisto de una cubierta, generalmente con una pequeña ventana por la que las partículas β puedan pasar a su interior. Un tipo popular de contador aparece en la Fig. 1*a*. Los contadores para rayos γ no requieren ventanas (Fig. 1*c*). Los rayos β procedentes de soluciones radiactivas pueden contarse con un contador relleno de líquido (Fig. 1*b*) [7].

Los contadores G-M registran prácticamente todas las partículas β que penetran en el espacio entre el cátodo y el ánodo. El rendimiento global para contar los rayos β de una determinada fuente depende de la disposición geométrica de esta y el contador y de cualquier material absorbente entre la fuente de origen y el volumen activo del contador. Además, el rendimiento puede aumentarse difundiendo dentro del contador partículas β que de otro modo se escaparían. Los rayos γ se miden por los electrones secundarios que pueden liberar

de la substancia cerca de la cara interna del contador. Sólo el 1% de los rayos γ que pasan a través del contador quedan registrados, por lo que éste es un medio relativamente ineficaz para medir la radiación γ.

Para fines generales sólo se precisan mediciones relativas de las fuentes de radiactividad, pero hay casos especiales en que deben determinarse las actividades absolutas. El contador G-M según disposiciones y formas especiales [8, 9] ha sido muy útil para la estandardización absoluta de las fuentes radiactivas.

(2) El centelleo producido en las substancias fluorescentes bajo el impacto de los rayos α fué observado en un instrumento denominado espintariscopio. Este fué uno de los métodos más antíguos para observar y medir las radiaciones de una substancia radiactiva. Los minúsculos destellos podían distinguirse a simple vista en la oscuridad y ser contados por el observador. El método del centelleo cayó en desuso hacia 1920 gracias al desarrollo de otros métodos, pero durante los últimos años ha vuelto a ponerse en vigor como método muy eficaz para la medición de todos los tipos de radiación, especialmente de los rayos γ [10]. Substancias tales como la naftalina, el antraceno y los yoduros de sodio y potasio activados con talio, pueden emplearse como fluorescentes en forma de grandes cristales de varios centímetros de espesor. Una gran proporción de la radiación γ incidente es absorbida por el cristal y cada rayo γ produce un diminuto centelleo de luz que puede afectar el fotocátodo de un multiplicador electrónico [5]. La pulsación emergente del multiplicador electrónico es suficientemente fuerte para actuar un contador electrónico. Otra ventaja del contador de centelleo radica en su completa y rápida reacción a un rayo γ, la cual requiere mucho menos de un microsegundo, o sea mucho menos que una centésima parte del tiempo que generalmente necesita el G-M.

(3) Los métodos fotográficos para detectar las radiaciones han tenido un gran desarrollo durante los últimos años. En la actualidad se usa principalmente este método para la detección de substancias radiactivas localizadas. En la técnica autorradigráfica una muestra plana se pone en contacto con la emulsión fotográfica. Las substancias activas en rayos β de la muestra afectan la emulsión localmente y, una vez revelada, la placa puede compararse con aquélla para ver en qué punto de la muestra está localizada la radiactividad. Entre las muchas variantes de esta técnica la que proporciona una resolución mayor se debe a Pelc [11], quien empleó una emulsión separada, flotante en agua, sobre la muestra, secándola *in situ* para su exposición. Puede revelarse y fijarse mientras permanece en contacto con la muestra, dando así una imagen inmediata de la distribución de la radiactividad. El poder de resolución de las autorradigrafías así preparadas es muy elevado. Stevens [12] demostró que las líneas de yoduro de plata radiactivo con una separación de 2 a 2,5 micrones quedaban perfectamente separadas en la autorradigrafía. El orden de magnitud de la exposición necesaria para producir una autorradigrafía es $(2 \text{ a } 5) \cdot 10^6$ trayectorias β por centímetro cuadrado de emulsión.

Los métodos fotográficos son adecuados para medir las irradiaciones a nivel bajo pero de duración larga. Por esta razón, los investigadores de substancias radiactivas llevan unas placas de película para rayos X, las cuales se revelan semanalmente, proporcionando así datos estadísticos sobre las radiaciones β y γ a que han estado expuestos.

ORGANIZACION DEL SUMINISTRO DE SUBSTANCIAS RADIACTIVAS

Aproximadamente una mitad de los envíos desde Harwell consisten en substancias radiactivas que no requieren manipulación química antes de su despacho. Estas se traspasan a unas cajas provistas de la debida protección, se verifica el nivel de radiación emanado de las mismas y entonces se despachan. Las substancias que requieren un tratamiento químico se embalan en cajas apropiadas para su traslado al laboratorio químico correspondiente. El transporte se realiza por ferrocarril, carretera o avión. En todos los casos se procura que las substancias lleguen cuanto antes a su destino. La substancia de más corta vida hasta ahora despachada regularmente desde Harwell es el silicio 31 de una vida-media de 170 minutos. Este se manda por automóvil a una universidad situada a unos 30 km de distancia.

Ofrece especial interés la forma de transporte de materiales activos a Sud Africa. Las puntas de las alas de los aviones de la South African Airways están provistas de un compartimiento en el cual se aloja la substancia activa dentro de un recipiente de latón. Los pasajeros y la carga están tan distantes de la punta de las alas que el nivel de radiación está muy por debajo del tolerado, aun cuando el recipiente contenga una fuente de varios centenares de milicuries [13].

Los pedidos recibidos se dividen en dos grupos principales: unos, de substancias que ya han sido elaboradas químicamente y otros que solicitan la

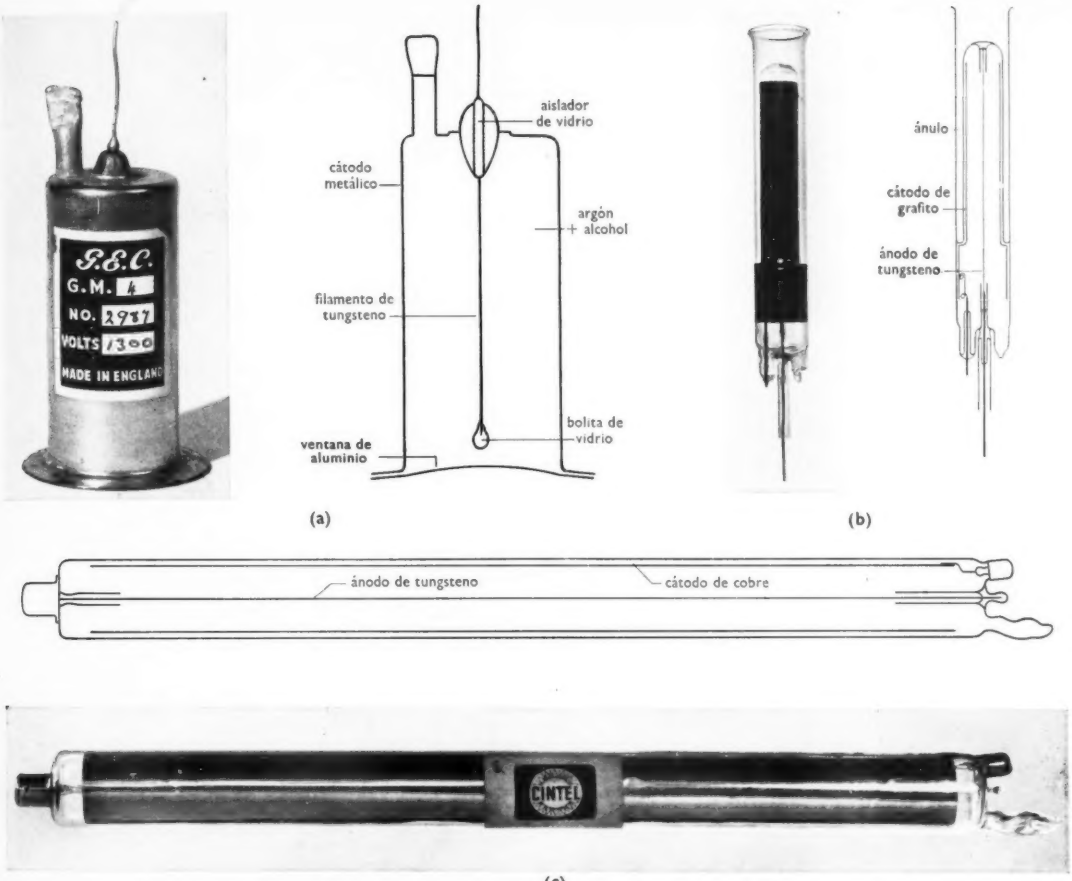


FIGURA 1 – *Instrumentos para la medida de la radiación.* (a) *Contador con ventana;* (b) *contador con líquido;* (c) *contador de rayos* γ.

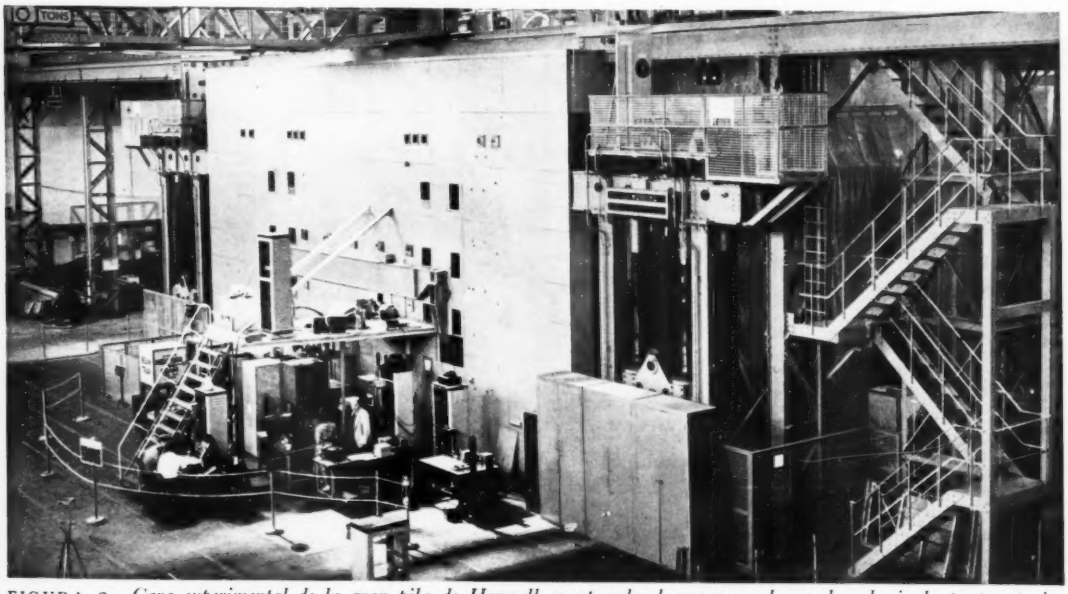


FIGURA 2 – *Cara experimental de la gran pila de Harwell, mostrando el ascensor y la escalera hacia la parte superior. Debajo del equipo de la izquierda hay un laboratorio con acceso subterráneo a la pila.*

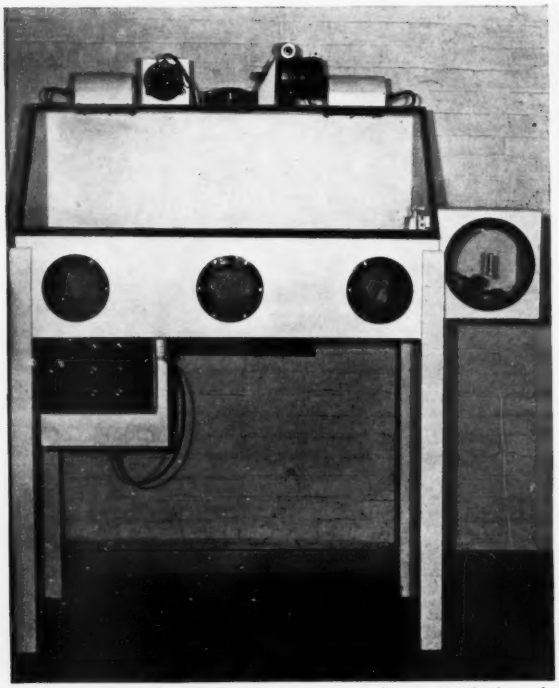


FIGURA 3 – *Cámara de Perspex para la manipulación de substancias radiactivas emisoras de particulas α.*

FIGURA 4 – *Detector con empuñadura de pistola para la medida local de la intensidad de la radiación.*

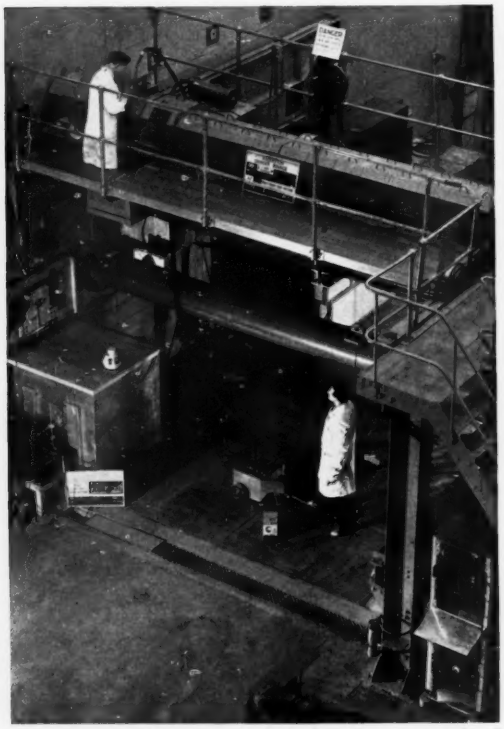


FIGURA 5 – *Cara de control de la pila, mostrando el puente por medio del cual los isótopos se retiran a través de un canal con protección de plomo.*

FIGURA 6 – *Aparato para la preparación del yodo* 131. *Parte de la gruesa coraza de plomo ha sido retirada para mayor claridad de la ilustración. Se calienta por medio de radiación infrarroja.*

(*Fotografías* Crown Copyright Reserved.)

irradiación de una determinada cantidad de substancia bajo condiciones definidas y por un tiempo dado. Los pedidos de esta última clase son para lo que generalmente se llama irradiación unitaria de una substancia. Los pedidos semanales para irradiaciones unitarias, junto con otras solicitudes especiales, se numeran y resumen en una hoja semanal que se pasa al grupo técnico de la división de isótopos. Los miembros de éste pesan la cantidad necesaria de substancia pura dentro de recipientes de aluminio numerados. Cada pesada y especialmente la identificación de cada substancia, se efectúa independientemente por dos técnicos. Al mismo tiempo otros miembros de la sección proyectan el diagrama para la carga de la pila, indicando la posición que cada recipiente debe ocupar dentro de la misma para inducir así la correcta actividad en su contenido. El incremento exponencial de la actividad en una muestra puede calcularse partiendo de sus propiedades y de las condiciones de irradiación de la pila [14].

Algunos elementos absorben los neutrones con excepcional facilidad y las muestras de los mismos pueden causar una reducción local del flujo de neutrones, perturbando así la irradiación de las substancias vecinas. De forma parecida, tales substancias pueden interferir con su propia irradiación a consecuencia del fenómeno de la autoprotección. Las capas exteriores absorben suficientes neutrones para reducir la actividad inducida en su interior, y la actividad total producida en la muestra puede ser mucho menor que el valor calculado. Cabe reducir estos efectos mediante una cuidadosa consideración del tamaño de las muestras de elevada absorción y de su distribución en la pila.

Las substancias que deben irradiarse en la pila han de investigarse para asegurar que son física y químicamente adecuadas. El elemento que debe ser irradiado no debe pertenecer a un compuesto con otros elementos de elevado poder de absorción de neutrones o que produzcan actividades no deseadas. Los compuestos no deben fundirse o hervir bajo condiciones algo más rigurosas que las de la pila y las substancias que tienden a descomponerse no son aconsejables. Líquidos con puntos de ebullición al menos 50 a 100° superiores al de la temperatura de la pila pueden irradiarse si son químicamente estables y pueden encerrarse en botellas de sílice fundida. Esta es empleada para las botellas por la misma razón que el aluminio lo es para los recipientes, pues ambos absorben relativamente pocos neutrones y la actividad inducida es de corta duración. Desde que se ha aplicado este sistema de disponer y estudiar las irradiaciones en la pila se han efectuado millares de irradiaciones y el número total de errores ha sido muy reducido.

FOSFORO 32 Y YODO 131

Entre las demandas de substancias radiactivas separadas químicamente la mayoría son de fósforo 32 de una vida-media de 14,3 días y de yodo 131, de 8 días. Ambos se emplean para estudios de metabolismo y para la terapéutica de un número limitado de enfermedades. Sus métodos de separación ilustran la mayoría de los procesos empleados para el manejo de cantidades de curies de isótopos activos sin agente portador y donde se han de separar microgramos de material activo sumamente puro de centenares de gramos del compuesto inicial. Tales substancias prueban también que mientras es posible operar en recipientes no protegidos con niveles de actividad de un milicurie aproximadamente, en cambio cuando los niveles de actividad son centenares de veces mayores debe emplearse un aparato de manipulación a distancia. De los dos radioisótopos, el fósforo 32 posee aplicaciones más vastas ya que, además de sus aplicaciones medicinales tiene gran interés para las investigaciones bioquímicas y agrícolas.

El fósforo 32 emite partículas β de una energía máxima de 1,7 MeV, y no emite rayos γ. Se prepara irradiando el azufre ordinario, absorbiendo el isótopo de número 32 de masa un neutrón y emitiendo un protón, convirtiéndose así en fósforo 32. Es preciso extraer el fósforo 32 del azufre, convirtiéndolo en la forma química de ácido ortofosfórico diluído.

El proceso empleado en Harwell [15] para la preparación del fósforo 32 es, químicamente, casi el mismo que el empleado en Oak Ridge, Estados Unidos, pero el aparato es considerablemente distinto.

Se obtienen al mismo tiempo de dos a seis bloques de 300 g de azufre irradiado, y son despojados de sus envolturas mediante cuchillas especiales y pinzas actuadas a través de una placa de Perspex. Cada uno contiene unos 0,3 curies de fósforo 32. Entonces se funden y se extraen a unos 130° en ácido nítrico 0,2 N dentro de un recipiente de vidrio Pyrex en el interior de un vaso a presión de acero inoxidable, con movimiento de oscilación para agitar su contenido. Después de algunas horas la mayor parte del fósforo 32 aparece en la fase líquida como ion ortofosfato. Al enfriarse, se separa el bloque de azufre. La solución consiste en el ácido ortofosfórico requerido, algo de ácido nítrico y quizás algo de ácido sulfúrico

que podría contener azufre 35 radiactivo e impurezas inorgánicas y orgánicas.

Todo el manejo de la solución se hace desde detrás pantallas de Perspex. Primeramente la solución se aspira hacia un depósito y pasa a través de un filtro de vidrio hacia un frasco de destilación (Fig. 6) con una camisa de vacío, en donde el volumen se reduce de 1500 a unos 80 ml. Es aspirada hacia un segundo depósito y circula por un reactor. Se mantiene aquí mediante aire comprimido sobre un disco de vidrio sinterizado, mientras que se precipitan sobre la solución unos 20 mg de hidróxido de lantano. Este absorbe el fósforo. Los ácidos nítrico y sulfúrico permanecen en solución como sales amónicas ya que el hidróxido de lantano se precipita con amoníaco. Después de nueva disolución, precipitación y filtrado, el precipitado se disuelve en ácido clorhídrico y se vierte en un pequeño evaporador calentado con vapor de xileno. Se evapora repetidas veces casi a sequedad, añadiendo agua cada vez para reducir el contenido de ácido clorhídrico. Las substancias orgánicas se destruyen con agua oxigenada y el resíduo se trata con ácido clorhídrico 0,1 N.

La solución se aspira hacia un tercer depósito y se la deja pasar a través de una columna de resina intercambiadora de cationes y desde aquí a un evaporador final. Ahora está libre de impurezas inorgánicas radiactivas y no radiactivas, pero quizá haya absorbido algo de substancia orgánica de la resina. La solución se evapora casi a sequedad y se la trata dos o tres veces con unas gotas de agua oxigenada muy pura. Finalmente se evapora con agua triplemente destilada y se separa como solución de reserva, la cual se estandardiza por su contenido radiactivo por mililitro y se analiza espectrográficamente.

Las soluciones de fósforo 32 deben guardarse y distribuirse cuidadosamente ya que cualquier partícula de polvo en la solución adsorbería una gran proporción de la actividad. El moho o las bacterias desarrolladas en la solución causarían un rápido metabolismo del fosfato en otros compuestos fosfóricos, haciendo así inservible la solución. Si las soluciones se guardan libres de polvo, ligeramente ácidas ($pH \simeq 3$), a un nivel de actividad mayor de diez milicuries por mililitro y se esterilizan antes de despacharlas, la actividad se mantiene en la forma química correcta.

El yodo 131 se produce principalmente partiendo del telurio. Uno de los isótopos naturales del telurio, el telurio 130, experimenta la reacción (n,γ) hacia el telurio 131, el cual por degeneración β pasa a yodo 131. Tal isótopo aparece también, con un rendimiento apreciable, como producto de la fisión del uranio, y el yodo 131 producto de tal fisión reemplazará probablemente al procedente del telurio.

De momento, [16] el telurio metálico pulverizado se irradía en recipientes de aluminio, cada uno con unos 150 g. Después de dos semanas de irradiación bajo un flujo de $8 \cdot 10^{11}$ neutrones por cm^2 por segundo, cada recipiente contiene unos 350 milicuries de yodo 131. El telurio de cada recipiente se disuelve en una mezcla de ácidos crómico y sulfúrico. El yodo pasa a la solución como ácido yódico y el telurio como ácido telúrico. La solución se enfría y se reduce mediante ácido oxálico. Con este reactivo, el ion yodato se reduce a yodo elemental, permaneciendo en la solución los restantes componentes. El yodo 131 puede destilarse y fijarse en bisulfito de sodio alcalino como yoduro, pero la solución es demasiado impura para la mayoría de las aplicaciones. Contiene trazas de telurio, ácido oxálico e ion crómico. Se purifica destruyendo el ácido oxálico mediante permanganato y vertiendo entonces el resto del permanganato en una solución de ácido sulfúrico con una cantidad mínima de ácido oxálico y destilando por segunda vez al bisulfito alcalino. El producto de la segunda destilación es muy puro y se evapora hasta una solución estandardizada por su radiactividad, analizada espectroscópicamente como de costumbre, antes de ser despachada. Todo el proceso de preparación y distribución del yodo 131 debe llevarse a cabo detrás de una protección de plomo de unos 5 cm de espesor (Fig. 6).

El problema de almacenar soluciones en su forma química correcta es tan importante para el yodo 131 como en el caso del fósforo 32. La acción sobre el agua de las radiaciones β u otras radiaciones ionizantes, es la de producir condiciones oxidantes. El yodo 131 de unos 20 a 25 milicuries por mililitro, en una solución en la forma química de yoduro puede convertirse parcialmente, en el transcurso de unos pocos días, en yodo elemental. La importancia del efecto de esta radiación puede reducirse almacenando las soluciones con un ligero exceso de bisulfito con un pH de 7 a 9 y con no más que de 8 a 10 milicuries por mililitro.

Generalmente existe una pequeña cantidad de yoduro en el telurio empleado para la producción de I^{131}. Incluso cuando el telurio escogido contiene tan poco yodo inactivo como sea posible, la nueva solución de yodo 131 contiene unos 0,5 microgramos de yodo inactivo por milicurie, o

sea unos cien átomos de yodo inactivo por cada átomo de yodo 131.

CARBONO 14

El carbono 14 es el radioisótopo más empleado para la identificación de compuestos orgánicos en investigaciones bioquímicas y afines. Tiene una vida-media larga — unos 6000 años — y solamente emite partículas β de reducida energía, siendo su valor máximo unos 0,15 MeV. En el caso del carbono 14 es particularmente fácil ver por qué la substancia radiactiva debe prepararse primeramente en una forma química y sintetizarse después en el compuesto conveniente para uso ulterior.

La reacción nuclear empleada en la preparación del carbono 14 es la (n,p) sobre nitrógeno 14. El nitrógeno se irradía generalmente en la forma química de nitrato potásico. El carbono 14 aparece principalmente en la forma química de anhídrido carbónico y puede extraerse disolviendo el nitrato irradiado en ácido nítrico diluído y barriendo los gases con aire libre de CO_2. El carbono 14 puede entonces precipitarse en una solución de una mezcla de hidróxidos potásico y bárico, como carbonato bárico. El carbono 14 preparado según este método va acompañado de una gran proporción de carbono inactivo de origen incierto. Es corriente enviar la substancia con un contenido isotópico del 5% de carbono 14.

Las síntesis de importantes compuestos orgánicos intermedios a base de anhídrido carbónico identificable, y otras síntesis más extensas, se llevan a cabo en el centro radioquímico de Amersham. Las síntesis se realizan generalmente con un milicurie de C^{14} por milimol de compuesto. Esto basta para la mayoría de los fines, pero puede aumentarse en los casos en que la dosis dada a un animal, por ejemplo, deba mantenerse pequeña y contener sin embargo la mayor actividad posible.

USOS BIOQUIMICOS DE LOS TRAZADORES

En el campo de la bioquímica es donde los compuestos etiquetados han sido empleados con éxito espectacular. Describiremos brevemente algunas aplicaciones típicas.

La aplicación más simple es la de trazar la marcha de una substancia, independientemente de su composición química. El metabolismo bruto de los elementos en los animales puede ser importante a fin de determinar si son retenidos y si quedan localizados, o si son eliminados rápidamente. El riesgo que supone para la salud un radioisótopo del elemento puede depender más de su comportamiento en el cuerpo que de sus propiedades radiactivas. La distribución de la radiactividad puede estudiarse en gran escala empleando técnicas de contador y en reducida escala mediante autorradigrafías. El estudio de la distribución del yodo 131 en particular, del sodio 24 y del fósforo 32 ha sido empleado para los diagnósticos y frecuentemente como preliminar al empleo de grandes dosis del isótopo con fines terapéuticos.

Las reacciones de los sistemas químicos extremadamente complicados pueden estudiarse con ayuda de los compuestos etiquetados. En los sistemas vivos puede administrarse un compuesto etiquetado y extraerse la actividad del mismo bajo una forma química desconocida. La naturaleza química del metabolito radiactivo puede evidenciarse mezclándolo con una muestra pura del compuesto cuya presencia se sospecha, y tratando entonces de separar el compuesto puro y el residuo radiactivo por medios físicos, tales como la repetida cristalización [17] y la cromatografía [18]. Si ambos no pueden separarse por ningún proceso, su identidad química es sólo probable pero no comprobada. Sin embargo, cuanto más procesos se prueben y fallen tanto menos probable será que el residuo radiactivo no sea químicamente el mismo que el compuesto puro.

No hay duda que el método combinado de la cromatografía y la medición radiactiva [18, 19, 21] es ya el medio más flexible y satisfactorio para resolver, identificar y apreciar las cantidades presentes de un número de metabolitos de un solo compuesto etiquetado administrado.

EL ESTUDIO DE LA FOTOSINTESIS

El carbono 14 ha facilitado grandes progresos en la química de la fotosíntesis. Calvin [21] y sus colaboradores han desarrollado unas técnicas mediante las cuales algas tales como *Chlorella*, o incluso hojas verdes, pueden desarrollarse normalmente y estudiarse entonces en un aparato que permita iluminarlas por duraciones definidas en presencia o ausencia de anhídrido carbónico etiquetado con carbono 14.

Pronto se halló que los métodos analíticos clásicos para estudiar las diversas formas químicas por que pasa el carbono 14 eran inadecuados, y el método combinado de la cromatografía bidimensional sobre papel y la autorradigrafía se emplea para la identificación y tanteo semicuantitativo de los compuestos.

Calvin llevó a cabo la fotosíntesis con anhídrido carbónico inactivo ordinario, deteniendo luego la corriente de gas e inyectando anhídrido carbónico

etiquetado con C^{14} en forma de bicarbonato de sodio acuoso y prosiguió la fotosíntesis por un período que variaba entre cinco segundos y cinco minutos, y deteniendo el proceso al verter el contenido del recipiente en alcohol caliente. Se esperaba que reduciendo el período de la fotosíntesis se hallaría el compuesto o compuestos en los cuales el anhídrido carbónico se habría fijado primeramente, alargando después el período y siguiendo la conversión en otros compuestos.

Se consiguió un notable éxito. Reduciendo los compuestos por métodos conocidos o por modificaciones de ellos, fué posible estudiar la aparición de la actividad incluso en átomos individuales de carbono en las moléculas, en función del tiempo de fotosíntesis, deducir la secuencia de las reacciones y postular con seguridad las intermedias en los ciclos de reacción.

TECNICA DE LA DILUCION

Si se coloca una pequeña cantidad dada de un compuesto etiquetado A* con una actividad específica conocida, en un sistema químico relativamente grande, en el cual hay una cantidad desconocida de A, químicamente igual que A* y completamente mezclada, entonces el compuesto etiquetado quedará diluído por la cantidad desconocida de A. Tomando una muestra de la mezcla se purifica el componente A de la misma volviéndose a medir la actividad específica. Entonces si y es la cantidad desconocida de A en el sistema, y x es la cantidad conocida de A* originalmente añadida con una actividad específica C_0, y si la actividad específica final es C, es fácil ver que:

$$y = \left(\frac{C_0 - C}{C}\right)x.$$

Esto proporciona el medio de determinar y cuando la cantidad de muestra tomada finalmente es desconocida. Lo que se precisa es una purificación química eficaz y una cuidadosa medición de las actividades específicas. Esta técnica tiene muchas aplicaciones para sistemas biológicos y otros.

MEDICIONES CINETICAS

La variación con el tiempo de la actividad específica de un compuesto es realmente la variación con el tiempo de la concentración de la actividad en esa forma química. Los estudios sobre las actividades específicas de los compuestos que contienen un elemento radiactivo pueden suministrar muchos datos en numerosos sistemas biológicos y de otras clases [20].

APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS ISOTOPOS RADIACTIVOS

Recientemente se han establecido prácticamente muchas aplicaciones industriales. Estas pueden dividirse en dos grupos principales. Primeramente, aquéllas que son adaptaciones de aplicaciones biológicas; generalmente según métodos simples pero en gran escala y requiriendo a veces la preparación de grandes cantidades de material activo. En segundo lugar, una clase de aplicaciones en las cuales las radiaciones de substancias radiactivas solamente se requieren por sus propiedades físicas.

La primera clase está representada por aplicaciones tales como la etiquetación de la zona de unión entre aceites de dos clases que son impelidos dentro de una misma tubería, siendo la substancia de etiquetación activa en rayos γ, de forma que su movimiento puede observarse desde el exterior de la tubería. Otra aplicación es como busca-pérdidas en las armaduras de los cables telefónicos, mediante la inyección dentro del cable de vapor de bromuro de metilo radiactivo etiquetado con bromuro 82 y detectando la actividad en la vecindad del escape [22]. Los estudios en gran escala de la velocidad de ventilación de edificios pueden realizarse observando la disminución de la actividad de un gas raro radiactivo debido a su continuada dilución en aire fresco.

Los estudios sobre el desgaste pueden llevarse a cabo radiactivando una parte de la máquina y midiendo después los residuos radiactivos en el aceite de lubricación. Las ventajas de la técnica radiactiva en estudios de esta clase consiste en que pueden así investigarse determinadas partes de la máquina y el tiempo requerido para una medición del desgaste es una pequeña fracción del que se necesitaría para una prueba de duración usual.

Existen tres usos industriales principales de las radiaciones procedentes de substancias radiactivas. Primeramente, las fuentes de rayos γ se emplean para la radigrafía de piezas de fundición, soldaduras y mecanismos, en ensayos no destructivos. Los instrumentos de rayos X del voltaje apropiado son voluminosos y de gran coste, mientras que la exposición más prolongada que se precisa con una fuente de rayos γ está compensada en parte por el hecho de que es posible, con frecuencia, radigrafiar un grupo de piezas de fundición a la vez con una sola fuente. El radio y el radón fueron extensamente empleados como fuentes de rayos γ, pero tienen el inconveniente de ser caro el primero y de corta vida el segundo. Una variedad de fuentes de rayos γ producidas en la pila es hoy

asequible a la industria, habiendo hallado inmediata aceptación. Los isótopos hasta ahora empleados son el cobalto 60 de una vida-media de 5,3 años dando rayos γ de 1,17 y 1,33 MeV; el tantalio 182 de una vida-media de 117 días y parecida energía γ; y el iridio 192 de vida-media de 70 días y una radiación γ de unos 0,5 MeV. Para usos semejantes se están desarrollando otras fuentes. Un análisis reciente [23] de la situación indica que es ahora posible adaptar la fuente para un fin determinado.

La segunda aplicación industrial de la radiación es la medición del grueso de materiales laminados sin necesidad de un contacto directo. Si una fuente de substancia activa en rayos β se coloca debajo de una hoja de papel en movimiento, la proporción de rayos β absorbida por el papel dependerá de su grueso expresado en mg por cm^2. Si se coloca una pieza de papel estandard entre una segunda fuente activa y una segunda cámara de ionización, ambas cámaras pueden conectarse en oposición dando así una lectura nula. Cualquier desviación en el grueso del papel se registra instantáneamente pudiendo así corregirse la producción.

Las partículas β son dispersadas por los materiales y el rendimiento de la dispersión por retroceso aumenta apreciablemente con el número atómico. Si la fuente de rayos β y el detector se colocan en la misma cara de una lámina de una substancia, los rayos β dispersados por retroceso serán una medida del grueso de tal substancia, siempre que sea delgada relativamente al espesor medio de absorción de la radiación dispersada. Si tenemos un material recubierto con una substancia cuyo número atómico sea muy diferente, entonces la dispersión por retroceso procedente del material estará modificada por el recubrimiento y servirá para medir el espesor de este último. Por ejemplo, las lacas sobre el acero reducen la dispersión por retroceso, mientras que ésta se incrementa por el estaño sobre el mismo acero. El límite de la sensibilidad para la medida de un espesor de estaño del orden de $25 \cdot 10^{-4}$ mm sobre acero es de unos $25 \cdot 10^{-6}$ mm.

Las planchas de mayor espesor que las que pueden medirse mediante las partículas β pueden serlo valiéndose de la absorción o de la dispersión por retroceso de las partículas γ, pero hay una gama de espesores que son demasiado gruesos para medirse con rayos β y demasiado delgados para serlo con rayos γ. Se están desarrollando nuevas fuentes de rayos γ de energía muy reducida a fin de resolver este problema especial [24].

La tercera aplicación de la radiación es para la dispersión de la electricidad estática en procesos industriales. Muchos son los procesos en los que se manejan materias aislantes que van cargándose estáticamente haciendo muy difícil su manipulación o constituyendo un peligro de incendio. Las fuentes radiactivas pueden emplearse para una ionización local del aire desviando las cargas hacia tierra. Las fuentes de partículas β de energía y vida-media apropiadas son aplicables para la eliminación de cargas estáticas; el talio 204 con una vida-media de 3 años y una energía máxima de rayos β de 0,7 MeV es apropiado para cargas estáticas moderadas. Cargas mayores necesitarán el desarrollo de fuentes de actividad β más intensas, de vida más larga y moderada energía.

BIBLIOGRAFIA

[1] PERLEY, ANNE, FORBES, G. B. y PENNOYER, MIRIAM M. *J. Pediat.*, **38**, 299, 1951.

[2] SZILARD, L. y CHALMERS, T. A. *Nature*, **134**, 462, 1934.

[3] ARROL, W. J., WARREN, D. T. y POUNDS, PAMELA. *Atom. Ener. Res. Estab. Mem.* I/M 10.

[4] «Introductory Manual on Control of Health Hazards». Medical Research Council, Londres. 1949.

[5] SHARPE, J. y TAYLOR, D. *Proc. Instn Elect. Engrs*, **98**, parte II, No. 62, 174, 1951.

[6] HENRIQUES, F. C. Jr. y MARGNETTI, C. *Industr. Engng Chem.* (*Analyt. Edit.*), **18**, 417, 1946.

[7] VEALL, N. *Brit. J. Radiol.*, **21**, 347, 1948.

[8] PUTMAN, J. L. *Ibid.*, **23**, 46, 1950.

[9] «Conference on Absolute β-counting». National Research Council, Wáshington. 1950.

[10] CURRAN, S. C. y CRAGGS, J. D. «Counting Tubes». Butterworths, Londres. 1949.

[11] PELC, S. R. *Nature*, **160**, 749, 1947.

[12] STEVENS, G. W. W. *Ibid.*, **161**, 432, 1948.

[13] HALLIDAY, E. C. y ALPER, T. *Ibid.*, **166**, 110, 1950.

[14] EASTWOOD, W. S. *Atom. Ener. Res. Estab. Rep.* I/R 333.

[15] ARROL, W. J. *Ibid.*, I/R 748.

[16] *Idem. Ibid.*, I/R 777.

[17] MORTON, M. E. y CHAIKOFF, I. L. *J. Biol. Chem.*, **147**, 1, 1943.

[18] FINK, R. M., DENT, C. E. y FINK, K. *Nature*, **160**, 801, 1947.

[19] WINTERINGHAM, F. P. W. «Radio-isotope Techniques». Vol. I. Her Majesty's Stationery Office, Londres. En prensa.

[20] RADIN, N. S. *Nucleonics*, **2**, 50, 1948.

[21] CALVIN, M. *J. chem. Educ.*, **26**, 639, 1949.

[22] GUERON, J. «Radio-isotope Techniques», Vol. II. Her Majesty's Stationery Office, Londres. En prensa.

[23] EASTWOOD, W. S. *Nucleonics*, **9**, 50, 1951.

[24] WEST, R. *Ibid.*, **9**, 76, 1951.

Las bacterias lisógenas (I)

ANDRÉ LWOFF

Estudio de las características de los bacteriófagos y bacterias lisógenas. Análisis de las pruebas experimentales de la existencia de los sistemas lisógenos. Descripción de tres experimentos que comprueban el carácter hereditario de la lisogenia y que la liberación de los bacteriófagos se produce únicamente mediante la lisis de la bacteria. Multiplicación de ciertas bacterias sin liberación de bacteriófagos, pero conservando sin embargo el carácter lisógeno: una partícula específica (probacteriófago) que es no-infectiva y no-patógena pero que puede desarrollarse en un bacteriófago patógeno.

INTRODUCCION

Los bacteriófagos son partículas que poseen todas las cualidades y defectos que se consideran característicos de los ultravirus: virulencia — poder infectivo y poder patógeno —, pequeño tamaño — menos de 1300 Å — e incapacidad de reproducirse más que en el interior de una célula, a menudo específica. Sin embargo, entre las bacterias llamadas lisógenas, el bacteriófago se presenta bajo la especie de un virus potencial, de un probacteriófago no infeccioso y no patógeno. Pero a veces los probacteriófagos se convierten en bacteriófagos que, liberados por la lisis bacteriana, pueden infectar y lisificar las bacterias sensibles de la misma especie o de especies vecinas. Las bacterias lisógenas perpetúan hereditariamente la posibilidad de producir bacteriófagos. Llevan dentro de sí una partícula específica dotada de continuidad genética que, según todas las apariencias, se comporta como una partícula normal, pero puede, en ciertas condiciones, transformarse en un virus. Es ésa pues una situación curiosa y digna de interés. La atención del lector debe dirigirse hacia las palabras «en ciertas condiciones» que alcanzarán plena significación en el segundo artículo[1], consagrado al problema de la inducción.

LOS BACTERIOFAGOS. SISTEMAS ORDINARIOS

Para permitir a los que no se hallan familiarizados con las doctrinas microbianas la comprensión de las ideas relacionadas con la lisogenia, conviene presentar ante todo los sistemas ordinarios. Se llaman así los sistemas constituídos por el par bacteria sensible + bacteriófago virulento.

Es sabido que el bacteriófago es, por lo general, una partícula sub-esférica con un diámetro entre 200 y 1000 Å, constituída casi exclusivamente por substancia desoxiribonucleoproteica. A veces presenta un apéndice filiforme que, por analogía, se denomina «cola». Cuando un bacteriófago penetra en una célula sensible, ésta deja de crecer. Si las condiciones son favorables y los alimentos presentes los necesarios, la célula se lisifica al cabo de unos veinte minutos, liberando un centenar de bacteriófagos.

El estudio de la bacteriofagia debería comenzar por estos sistemas ordinarios en los que los elementos han sido cuidadosamente seleccionados en razón de ciertas propiedades interesantes, entre las cuales se encuentra el carácter dramático de sus relaciones con bacterias. Pero estos sistemas representan el término extremo de una evolución. La bacteriofagia ordinaria es una especie de melodrama, muy diferente, desde muchos puntos de vista, de la lisogenia que, como veremos, debe considerarse como la forma filogenéticamente originaria de la bacteriofagia.

Acostumbrados a considerar como elemento necesario de todo encuentro entre bacterias y bacteriófagos el fin trágico y fatal de aquéllas, algunos investigadores especializados en los sistemas ordinarios han negado a los sistemas lisógenos el derecho aún a una existencia teórica, debido a su carácter anormalmente pacífico. Pero los sistemas lisógenos han sobrevivido victoriosamente a tan injusta condena, demostrando su realidad y aun convirtiendo a sus propios jueces a una concepción más flexible de la bacteriofagia.

HISTORIA DE LA LISOGENIA

Será util hacer un resumen del desarrollo de nuestros conocimientos. Brevemente, pues nos limitaremos a los trabajos más significativos.

Las bacterias lisógenas han recibido tal denominación en el momento en que los bacteriófagos por ellas producidos eran bautizados «principios lisógenos». El término «bacteria fagógena» sería más lógico y claro. En 1925, Lisbonne y Carrère descubrieron que una raza de *Escherichia coli*

[1] La Parte II se publicará en nuestro número de Julio.

(*Bacterium coli*) producía un bacteriófago que lisifica ciertas razas de bacilos disentéricos del género *Shigella*. Si tales razas no hubieran sido más que una población mixta, vagamente equilibrada, de bacterias poco sensibles y de bacteriófagos poco virulentos, como suponía F. d'Hérelle, apenas hubiesen tenido interés. Pero J. Bordet demostró en 1925 que cada una de las bacterias de una raza lisógena da nacimiento a una colonia lisógena, concluyendo que el bacteriófago está «inscrito en la trama hereditaria de la bacteria». Y como las bacterias lisógenas son insensibles a los bacteriófagos que producen, J. Bordet concluyó asimismo que segregan los bacteriófagos sin sufrir daño. Ya veremos más adelante qué valor tiene esta supuesta secreción. Después, los trabajos de F. M. Burnet y sus colaboradores aportaron datos de capital importancia para el conocimiento de las bacterias lisógenas:

1. Se pueden obtener fácilmente sistemas lisógenos mezclando bacterias no lisógenas y bacteriófagos seleccionados. En tales condiciones, la mayoría de las bacterias infectadas se lisifican. Una pequeña proporción (digamos del orden de 10^{-7}) resiste y se multiplica, dando nacimiento a clones que resultan lisógenos. Recordemos que un clone es el conjunto de individuos nacidos de un único individuo por vía vegetativa o asexual.
2. Los bacteriófagos producidos por estas razas lisógenas experimentales son idénticos a los bacteriófagos originales. Las bacterias lisógenas perpetúan por tanto una partícula específica.
3. La lisis experimental de bacterias lisógenas no produce bacteriófagos. De esta observación, F. M. Burnet y M. McKie dedujeron en 1929 que el bacteriófago se perpetúa en las bacterias lisógenas en una forma no infectiva.
4. En un cultivo de bacterias lisógenas, sólo una pequeña proporción de las mismas liberan bacteriófagos.

Las bacterias lisógenas, concluyen los autores australianos, contienen en su constitución hereditaria una unidad capaz de producir bacteriófagos. Para que éstos se produzcan es necesaria una activación espontánea, que se supone sea análoga a la que se da en las reacciones monomoleculares o en las desintegraciones radiactivas.

De 1929 data pues el descubrimiento fundamental de la perpetuación de un virus potencial no infeccioso y no virulento. Pero han de pasar 15 años antes de que se vuelva a descubrir el estado no infeccioso en el ciclo de los bacteriófagos ordinarios y de que se extienda dicho concepto de estado no infeccioso a los virus de la encefalomielitis y de la gripe. El trabajo de F. M. Burnet y M. McKie había caído en la tumba de la indiferencia general. El silencio es, sin duda, el suplicio más eficaz y refinado infligido a los precursores, pues el mismo F. M. Burnet no hace referencia alguna en su libro *Virus as Organisms* (1946) a su propio trabajo de 1929.

Sin embargo, las investigaciones sobre las bacterias lisógenas se multiplicaban. En 1932, den Dooren de Jong descubría la lisogenia en el *Bacillus megatherium*, mostrando que las esporas del bacilo dan nacimiento a clones lisógenos. Algunos años más tarde, E. y E. Wollman constataban que la lisozima no causa la liberación de bacteriófagos a partir de *Bacillus megatherium* lisógeno, resucitando así la conclusión de los autores australianos relativa a la existencia de un estado no infectivo del bacteriófago.

Por último, J. Northrop determinó en 1939 el aumento del número de bacteriófagos y la producción de gelatinasa durante el cultivo del *Bacillus megatherium* lisógeno, obteniendo curvas en apariencia paralelas, lo que justifica en su opinión la idea de que el bacteriófago es una enzima segregada durante el desarrollo bacteriano.

LIMITACIONES DE LA ESTADISTICA Y DEL RAZONAMIENTO

Supongamos que en un cultivo en desarrollo la relación entre el número de bacterias y el de bacteriófagos permanece constante y tiene un valor 1. Teóricamente, dicho resultado puede obtenerse de dos maneras diferentes: (*a*) cada una de las bacterias libera un bacteriófago cada vez que se divide: (*b*) en el intervalo entre dos divisiones, un porcentaje dado de bacterias libera numerosos bacteriófagos, *v.g.*: de cada 200 bacterias, una libera 200 bacteriófagos. En este caso el aumento teórico se reduciría en un 0,5%, lo cual es de difícil observación, pues sólo se puede medir con exactitud un porcentaje de crecimiento mayor del 5%. El estudio de una población bacteriana no permite por tanto elegir entre las hipótesis *a* y *b*.

Si los *B. megatherium* lisógenos se ponen en contacto con los bacteriófagos que producen, éstos son adsorbidos pero las bacterias continúan desarrollándose. Las bacterias lisógenas son claramente resistentes a los bacteriófagos que liberan. En los sistemas ordinarios, los mutantes resistentes a un bacteriófago dado no adsorben a éste y, desde un punto de vista puramente operacional, se les puede considerar impermeables. La resistencia de

una bacteria lisógena es, como se ve, enteramente diferente, puesto que se produce la penetración de la misma; es una especie de inmunidad. No es sorprendente, por tanto, que la concepción de J. Bordet según la cual las bacterias lisógenas que liberan bacteriófagos sin resultar dañadas tienen que segregarlos haya sido generalmente aceptada.

¿ Cómo se puede, en realidad, concebir a priori que sólo una de las fases del ciclo del bacteriófago en una bacteria lisógena presente carácter patógeno ? Ningún razonamiento analógico, ningún análisis matemático del comportamiento de una población pueden conducir a dicha conclusión. Para saber lo que sucede realmente y conocer el modo en que las bacterias lisógenas liberan los bacteriófagos por ellas producidos, es suficiente estudiar una sola bacteria individual, pero es necesario que sea una sola.

LA LISOGENIA EN UNA ESCALA UNITARIA

Para experimentar con una bacteria única se ha utilizado el dispositivo de la Fig. 1. Es una cámara de material plástico que contiene un reostato y un termo-regulador, así como un microscopio y dos micromanipuladores. Uno, el micromanipulador de Fonbrune, sirve para recoger las bacterias y trasladarlas de gota en gota y para recoger las muestras del medio. El otro, el manipulador de Zeiss-Peterfi, sirve para sujetar y mover una pipeta de Pasteur previamente llena de líquido. El orificio de ésta puede llevarse al centro del campo del microscopio, siendo entonces posible inyectar el contenido de la micropipeta en la pipeta de Pasteur. Esta, una vez cargada, se trata como una pipeta ordinaria, pudiendo trasladarse su contenido a un tubo de agar. El medio de cultivo utilizado para las micromanipulaciones se deposita en un portaobjetos en gotas de diverso tamaño (Fig. 2); las más pequeñas tienen un diámetro de unas cien μ. Según la técnica clásica, el portaobjetos se invierte sobre otro y el espacio libre se llena de parafina líquida que impide la evaporación de las microgotas, y permite la difusión del oxígeno y los movimientos de la micropipeta.

Experimento 1. Se recoge un *B. megatherium* de una colonia de bacterias lisógenas y se introduce sucesivamente en cinco gotas grandes para lavarlo de los bacteriófagos libres que pudieran acompañarlo. Se inyecta luego en una microgota de medio nutritivo (Fig. 4). Después de cada división se toma una bacteria hija con un poco de líquido. Esta se traslada a una cápsula que contenga agar nutritivo previamente inoculado con una raza de *B. megatherium* sensible al bacteriófago producido por la raza lisógena. La operación se repite hasta la 19ª generación. Al llegar a ésta, se toman las dos bacterias hijas y se inoculan con todo el líquido de la microgota.

Cada una de las 20 cápsulas (Fig. 3) muestra una plaga única de lisis centrada por una colonia, lo que significa que cada una de las bacterias ha dado origen a una colonia que ha producido bacteriófagos, es decir: ha creado un clone lisógeno. Si hubiera habido liberación de bacteriófagos en la microgota en el curso de las 19 divisiones, se habrían observado plagas de lisis en la cápsula, y no hay ninguna, aparte de la que rodea a la colonia lisógena. La lisogenia se ha mantenido por tanto durante las 19 generaciones, a pesar de la ausencia de todo bacteriófago extrínseco. Si la lisogenia se perpetuase por medio de bacteriófagos extrínsecos, éstos, en nuestro experimento, deberían encontrarse al principio en el interior de la bacteria originaria. Si se hubiesen repartido entre las bacterias hijas durante las 19 divisiones, ello implicaría que la bacteria originaria había contenido más de 2^{19} (524 288) bacteriófagos. La lisogenia se perpetúa, por lo tanto, por vía endomicrobiana; es decir: es hereditaria.

Este experimento muestra también que las bacterias lisógenas pueden multiplicarse sin liberar bacteriófagos. Esta liberación, a la inversa de las síntesis de enzimas constitutivas, no acompaña necesariamente el crecimiento y división microbiana normales.

Experimento 2. Se lava un filamento de cuatro bacterias y se introducen en una microgota donde se multiplican. Se efectúan traslados a intervalos regulares (Fig. 5) inoculándose en las bacterias sensibles. Ninguna cápsula revela la presencia de bacteriófagos. Cuando hay 64 bacterias en la microgota se inyecta lisozima. Se produce la lisis de las bacterias. La totalidad de la gota se deposita entonces sobre un cultivo de bacterias sensibles sin que produzca ninguna lisis. *B. megatherium* lisógeno no encierra en sí ninguna partícula activamente infectiva. Y sin embargo, en toda población suficientemente abundante de bacterias siempre hay bacteriófagos libres. ¿ Cómo se han producido ?

Experimento 3. Se lava un filamento diplobacilar y se introduce en una gota fresca de medio (Fig. 6). Las bacterias se dividen. A los 65 minutos hay 8 bacterias y ningún bacteriófago. Entre los minutos 88 y 89 se observa por el microscopio la rápida desaparición sucesiva de 4 bacterias. La rapidez es muy grande: el observador fija una bacteria y en menos de un segundo ésta se desvanece sin

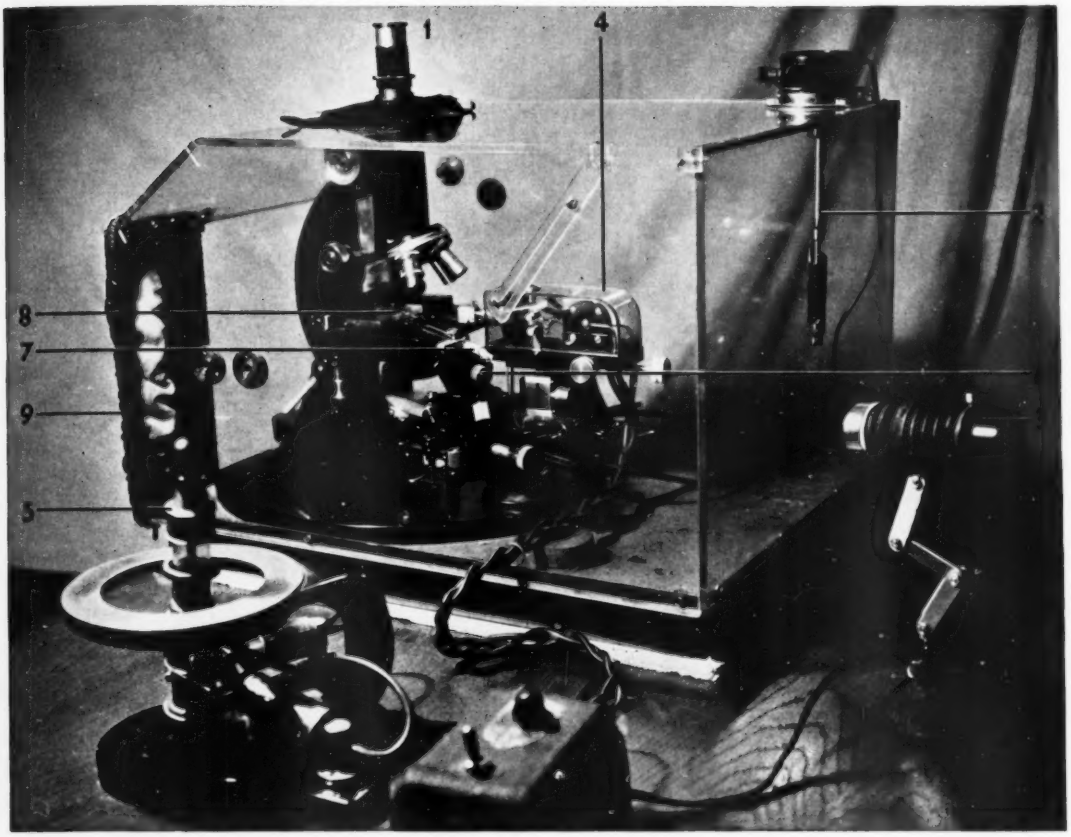


FIGURA 1 – *Cámara utilizada para las micromanipulaciones.* (1) *microscopio,* (2) *termo-regulador,* (3) *lámpara para la iluminación del microscopio,* (4) *micromanipulador de Fonbrune,* (5) *palanca de mando del micromanipulador de Fonbrune,* (6) *micromanipulador de Zeiss-Peterfi,* (7) *pipeta de Pasteur,* (8) *cámara de aceite,* (9) *orificio derecho encortinado que permite la introducción de las manos en la cámara.*

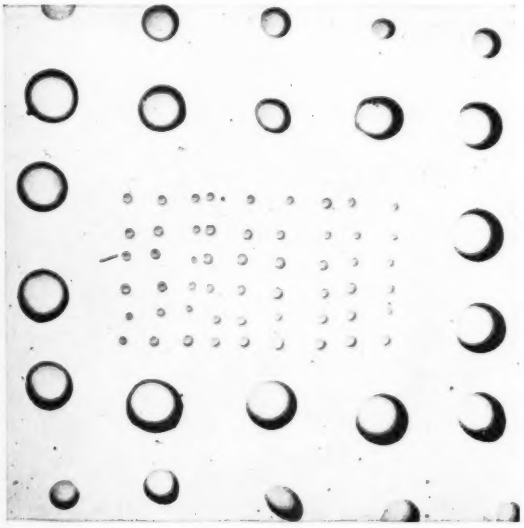


FIGURA 2 – *El portaobjetos con gotas del medio. Las más pequeñas tienen un diámetro de unas* 100 μ.

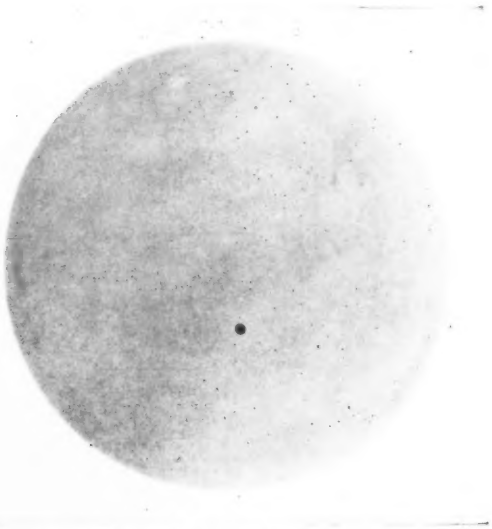


FIGURA 3 – *Fotografía de una cápsula de Petri. El fondo gris uniforme representa el cultivo de la bacteria sensible. Se observa una plaga (lisis de las bacterias sensibles) y en su centro una colonia. Esta se ha desarrollado a partir de un sólo germen correspondiente a la* 19ª *generación en microgota. (Según A. Lwoff y A. Gutmann.)*

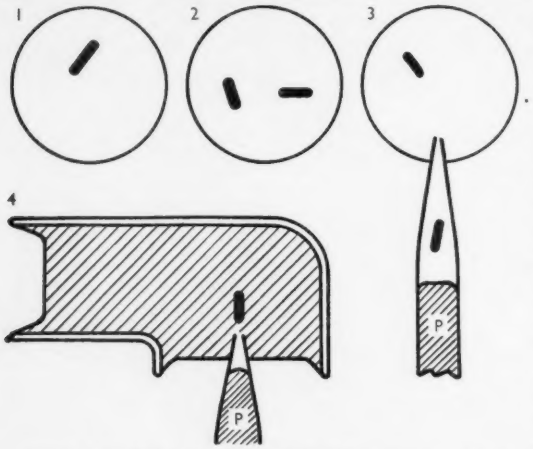


FIGURA 4 – *Una bacteria lavada se coloca en una microgota (1) donde se divide (2). Una de las bacterias hijas se traslada (3) y se inyecta en la pipeta de Pasteur (4). La operación se repite 19 veces.* P: *Parafina.*

dejar trazas visibles. Pero en la gota donde se ha producido la lisis de las cuatro bacterias hay ahora 579 bacteriófagos. En las numerosas observaciones de este tipo realizadas, la lisis bacteriana se ha producido frecuentemente. Se ha podido constatar también que 3 minutos antes de la lisis no había bacteriófagos libres. Estos son liberados únicamente por la lisis, en una cantidad de 100 a 200 por cada bacteria.

Así pues, en una población de bacterias lisógenas, ciertas de ellas se multiplican sin liberar bacteriófagos: ésas son las perpetuadoras de la raza lisógena. Otras se lisifican y liberan bacteriófagos: representan el carácter lisógeno. Existe por

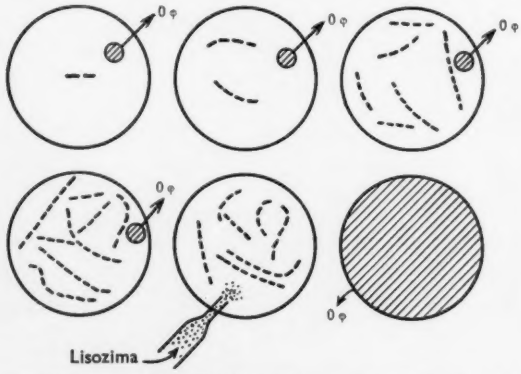


FIGURA 5 – *Desarrollo de bacterias en una microgota. Las pruebas de muestras no revelan la existencia de bacteriófagos (0φ). Después de la inyección de lisozima y de la lisis bacteriana, la totalidad de la microgota se extiende sobre la raza sensible: tampoco contiene bacteriófagos.*

tanto una incompatibilidad entre la perpetuación de las bacterias lisógenas y la producción de bacteriófagos.

Las bacterias lisógenas perpetúan pues una partícula específica, el probacteriófago, no infectivo y no patógeno, que, al parecer, se comporta como una partícula normal. Este probacteriófago representa un carácter letal potencial, con una entidad total hipotética. Sólo cuando el probacteriófago actualiza esta potencialidad convirtiéndose en bacteriófago resulta destruída la bacteria.

Como se ha visto, las bacterias lisógenas pueden adsorber los bacteriófagos por ellas producidos sin sufrir daño, al menos en dosis débiles. El bacteriófago no es patógeno. La multiplicación del probacteriófago como tal permite la supervivencia de la bacteria que lo contiene. El probacteriófago

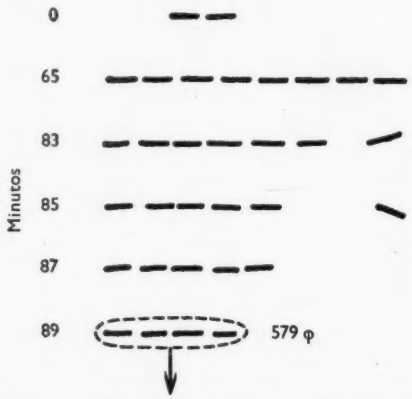


FIGURA 6 – *Las bacterias de una microgota se dividen. Luego, cuatro de ellas se lisifican. Las cuatro bacterias supervivientes quedan eliminadas. Se descubren 579 bacteriófagos en la microgota.*

tampoco es patógeno. Es la transformación de éste en aquél lo que constituye el fenómeno patológico.

Añadamos que hasta ahora no se conoce ningún ejemplo de bacterias lisógenas que segreguen bacteriófagos y continúen perpetuándose. Teóricamente, el fenómeno es posible. En todo caso, su realidad no podrá probarse sino mediante la observación de bacterias aisladas en microgotas. Toda conclusión derivada de la interpretación de datos estadísticos carece de valor probatorio y sólo representa una mera hipótesis.

LA CURACION

Las bacterias lisógenas perpetúan una partícula específica dotada de continuidad genética. ¿ Cómo puede esta partícula «inscribirse en la trama

hereditaria» de microbio? ¿Cuál es su grado de coordinación en el protoplasma microbiano? ¿Está unida a un órgano bacteriano, como un cromosoma, o goza de cierta autonomía e independencia?

Se ha descrito algunas veces la curación de bacterias lisógenas pero sin haber analizado los factores de dicha curación. Pero N. A. Clarke y P. B. Cowles (comunicación personal) han cultivado *B. megatherium* en un medio sintético con adiciones de citrato y han constatado que después de 75 transplantes la raza ya no es lisógena y, lo que es más, se ha convertido en sensible al bacteriófago producido antes de su curación. Nosotros hemos repetido y confirmado tan importante experimento, sometiendo razas lisógenas a transplantes rápidos en medios sintéticos, con o sin oxalato. Al 27° transplante, las razas no producían ya bacteriófagos y habían adquirido sensibilidad. ¿Cómo han de interpretarse estos resultados? Es posible que la velocidad de multiplicación de los probacteriófagos en el interior de las bacterias cultivadas en un medio sintético sea inferior a la de las bacterias mismas. Ello resultaría en la disminución progresiva del número de probacteriófagos y, finalmente, en su desaparición. Sea como fuere, las bacterias pierden su lisogenia. Pero, ¿por qué se hacen sensibles?

Hemos inoculado en una capa de agar nutritivo una mezcla de bacterias curadas y de bacteriófagos, en la proporción de 1 a 5 respectivamente. Todas las bacterias se infectan y la mayoría se lisifican. Sin embargo, algunas se desarrollan y producen clones, que resultan ser lisógenos.

Es muy posible que en una población de bacterias sensibles no lisógenas se produzcan siempre mutantes resistentes o, mejor dicho, inmunes, es decir gérmenes en los que el bacteriófago puede penetrar y transformarse en probacteriófago y en los que éste se perpetúa. En una población de bacterias sensibles, como la que hemos considerado (es decir, sin bacteriófagos), la selección natural favorece claramente a las bacterias sensibles, puesto que éstas se encuentran en mayoría. Si se añaden bacteriófagos, sólo se desarrollan las bacterias inmunes, dando nacimiento a una raza lisógena. En una tal población lisógena, las mutaciones inversas *inmunidad* → *sensibilidad* permiten el desarrollo de probacteriófagos en bacteriófagos, lisificándose los mutantes. La afirmación de que en una población lisógena sólo pueden sobrevivir los miembros inmunes no es sino una tautología. Pero si la población pierde su probacteriófago, los mutantes sensibles de la raza, que ya no es lisógena, no resultarán eliminados, pues ya no pueden producirse bacteriófagos, y acabarán por dominar ya que les favorece la selección natural a expensas de los inmunes.

En el suelo, *habitat* natural de *B. megatherium*, todas las razas aisladas se han mostrado, hasta la fecha, lisógenas. Desde el momento en que los bacteriófagos existen en un medio natural, sólo pueden sobrevivir las bacterias resistentes y, como hemos visto, en el caso de *B. megatherium* resistencia al bacteriófago significa lisogenia. También es esto cierto en numerosas especies lisógenas en las que la resistencia, contrariamente a la de las bacterias ordinarias, no está relacionada con una modificación de la membrana superficial que imposibilita la penetración del bacteriófago. La resistencia de las bacterias lisógenas está relacionada con las propiedades del medio bacteriano que permite únicamente la multiplicación del probacteriófago, impidiendo su transformación en bacteriófago.

EL PROBLEMA

Nos hemos esforzado por presentar cierto número de datos bien establecidos relativos a la lisogenia, pero aún quedan por resolver numerosos problemas. En particular éste: ¿Por qué ciertas bacterias de una población lisógena se multiplican normalmente mientras otras se lisifican liberando bacteriófagos?

¿Habremos de contentarnos simplemente con datos matemáticos y estadísticos de cálculo de la probabilidad de producción de los bacteriófagos en función del tiempo, obteniendo así una curva de la mortalidad bacteriana? ¿Se ha de reducir todo nuestro conocimiento a una fórmula en letras griegas que represente el estado sanitario de la población microbiana y sea, al mismo tiempo, testimonio de nuestra impotencia?

NOTA. Los trabajos del autor sobre las bacterias lisógenas han sido efectuados gracias a una subvención del *National Cancer Institute of the National Institutes of Health* (*Public Health Service*) de los Estados Unidos.

BIBLIOGRAFIA

Las referencias relativas a los trabajos citados en este artículo pueden hallarse en la memoria siguiente: A. LWOFF y A. GUTMANN, *Ann. Inst. Pasteur*, **78**, 711–39, 1950.

Gemelos idénticos en el ganado y herencia del color

JOHN HANCOCK

Pruebas de comprobación de la monozigocidad (origen uni-ovular) de gemelos vacunos, basadas en la diversa coloración de cuero y pelambre, desarrolladas en la Estación de Investigaciones Zootécnicas de Ruakura. Postulación de nueve genes que causan distintos tipos de coloración o moteado y pueden suministrar datos para el establecimiento de la monozigocidad. Posibles aplicaciones de estos métodos en la zootecnia tropical.

Existen dos tipos de gemelos: el monozigótico (uniovular, de un solo huevo) y el dizigótico (diovular, de dos huevos o fraternal). Los gemelos del primer tipo son el resultado de la división de un solo huevo fertilizado y en consecuencia, genéticamente, son idénticos. Los gemelos del segundo tipo se desarrollan a partir de dos huevos separados y, en sentido genético, no tienen un parecido mayor que los afines. Cualquier diferencia del aspecto o rasgos físicos o mentales entre los gemelos monozigóticos puede atribuirse en absoluto a influencias del medio ambiente, mientras que las diferencias entre los gemelos dizigóticos, en parte hay que atribuirlas al medio ambiente y en parte a la herencia. La comparación de la magnitud de las diferencias encontradas entre los gemelos de las dos clases proporciona una prueba directa y precisa de la influencia relativa de la naturaleza y la nutrición.

Los zootécnicos se sintieron naturalmente estimulados en vista de los éxitos del método de los gemelos en la biología humana, para utilizar un tanteo parecido. Se dejaba sentir además la necesidad de material experimental homogéneo de especies sumamente variables y de maduración lenta.

Ya en 1924 [1] se describió la primera pareja de gemelos monozigóticos entre el ganado. El progreso, sin embargo, fué muy lento a causa, parcialmente por lo menos, de la suposición *a priori* de que tendría que ser muy difícil distinguir entre gemelos monozigóticos y dizigóticos en razón de la uniformidad morfológica existente dentro de una raza de ganado.

Kronacher [2] estableció primeramente las reglas para la diagnosis de la zigocidad en los gemelos del ganado y empleó el método de la similitud que habían desarrollado los investigadores para el estudio de los gemelos humanos. Recientemente, el autor del presente artículo [3] comprobó que este método, con ligeras modificaciones, podía dar resultados muy precisos. El procedimiento consiste en una comparación crítica, si bien por entero subjetiva, de todas las características visibles, y tiende a encontrar una respuesta satisfactoria a la pregunta: ¿Son estas diferencias de tal calidad, y su número lo suficientemente reducido, que justifique la suposición de que los gemelos son monozigóticos?

En general, la utilidad de determinado rasgo como ayuda en la diagnosis de los gemelos se ve acrecentada por: 1°, un número crecido de factores genéticos que influencian dicho rasgo; 2°, efectos decrecientes de factores no germinales; y 3°, creciente facilidad de medir o percibir las diferencias. Las pigmentaciones del pelo y de la piel cumplen estas condiciones. En 1933 [4] se había postulado ya 19 genes diferentes del color del pelo, a los que se agregaron luego otros muchos factores. La actuación de los genes del color, en general, está relativamente muy poco influenciada por el medio ambiente, pero por lo mismo que aun las diferencias pequeñas son fácilmente perceptibles a simple vista, el problema de diagnosticar la zigocidad estriba en determinar la medida en que cada efecto de color pueda variar bajo la influencia de factores no germinales.

En el curso de los trabajos de recolección de gemelos durante los últimos seis años en el Centro de Investigación Animal de Ruakura, Nueva Zelanda, se examinaron casi un millar de pares de gemelos del mismo sexo. De entre todos ellos se juzgaron monozigóticos unos 300 pares. A la luz de la experiencia ganada en Ruakura, nos proponemos en este artículo examinar la utilidad de los variados colores de pelambre y cuero como criterios de zigocidad.

Vamos a seguir la nomenclatura de Ibsen [4], pero los símbolos de los genes se emplearán para describir la expresión fenotípica de un gene y

también para especificar el gene mismo. Debe tenerse en cuenta que casi todas las afirmaciones acerca de los efectos de color de un gene van acompañadas de la salvedad tácita «si no interviene la acción de otros genes».

1. ROJO (R)

El gene rojo (R) está presente en todo ganado menos en los albinos [4]. El color rojo no siempre se manifiesta, porque R es hipostático a (oscurecido por) otros muchos genes no alelomorfos. Existe una extensa gama de matices de pelaje rojo que abarca desde el rojo ciruela oscuro, observado en algunos Shorthorns hasta un blanco casi puro, como ocurre con frecuencia en los Jerseys. Los individuos de una pareja de gemelos monozigóticos no presentan diferencia alguna en el matiz del rojo, si han recibido idéntica crianza. En realidad, sólo cuando se somete los gemelos a un medio ambiente notablemente contrastado, se notan diferencias en el matiz del rojo. Por otra parte, los gemelos dizigóticos muestran con frecuencia pronunciadas diferencias de este color. Así pues, parece que, si no todos, la mayoría de los matices variantes del rojo presentes en un rebaño de vacas debe atribuirse a diferencias en la herencia. De momento, para nuestro objeto poco importa si las diferencias tienen como origen una variedad de genes específicos para el rojo, o si bien actúan varios factores de dilución.

El efecto pleiotrópico[1] de R sobre la pigmentación de la piel no se ha aclarado completamente en trabajos anteriores. Según las observaciones realizadas en Ruakura, parece que el pigmento marrón de un animal R se extiende a toda la superficie del cuero, y no sólo a las narices y párpados [4].

2. DILFUSOR NEGRO (E)

En la terminología de Ibsen, todo el ganado es genéticamente negro (B), pero el pigmento negro se extiende a todos los pelos únicamente cuando el animal posee el factor E. Tres parejas de gemelos monozigóticos negros localizados en Ruakura, que según su genealogía eran heterozigóticos para E eran uniformemente rojos o parduzcos al nacer, pero se volvieron de color negro azabache al despojarse del pelaje natal. Una cuarta pareja cambió a un gris oscuro ya definitivo. Parece pues evidente que E en el estado heterozigótico no es absolutamente epistático[2] sobre el Rojo (R).

[1] Pleiotrópico: Factor que afecta a varios caracteres.

[2] Epistático: El predominante de dos caracteres que no son alelomorfos.

3. NEGRUZCO (B_s)

Generalmente, el pelo negro en el ganado de este color está concentrado sólo en determinadas zonas. No obstante, se dan variaciones muy grandes en cuanto a la extensión en que el pelo negro cubre la superficie. En uno de los extremos, un animal B_s puede aparecer totalmente negro, mientras que en el otro, los pelos negros se hallan presentes tan sólo en el arranque de la cola. Entre estos dos extremos encontramos todas las gradaciones posibles. Los gemelos monozigóticos criados juntos difícilmente muestran diferencia alguna en esta característica, mientras que los gemelos dizigóticos son con frecuencia muy desemejantes. El tipo de color B_s no es un criterio fidedigno de zigocidad si los miembros de una pareja de gemelos han estado expuestos a la acción de ambientes distintos, pues se ha podido constatar que la extensión del color negro en los animales que permanecen en los corrales es inferior al de sus co-gemelos criados al aire libre. La lactación es otro factor que aclara el color del pelaje. Parece que todas las variaciones del tipo negruzco, menos en estas condiciones, deben explicarse en términos de diferencias genéticas. Los genes que producen los varios matices de color de pelaje rojo no parecen influir en el pelo negruzco, ya que el rojo, en cualquiera de sus matices, puede hallarse en combinación con cualquier grado de pelo negruzco.

El efecto pleiotrópico de B_s sobre el color de la piel no ha sido descrito adecuadamente en trabajos anteriores. Por lo mismo que el dibujo de la pigmentación de la piel es la marca que distingue a un animal poseedor de B_s de otros bastante parecidos fenotípica, pero genéticamente diferentes, presentamos a continuación una descripción detallada. En la inmensa mayoría, el color de la piel es negro, pero una banda de color parduzco corre desde la mandíbula inferior hacia la garganta, pecho, vientre y ubres, continuándose a lo largo de la zona trasera por encima de la vulva y el ano y a lo largo de la parte inferior de la cola. En muchos casos, sin embargo, parece que ocurre una interrupción en la piel de color castaño en la región de la garganta extendiéndose hasta la mitad de la papada. Toda la superficie interna y la porción inferior de la externa de las orejas son también de piel de color castaño.

Las zonas de pigmentación negra característicamente determinadas se encuentran presentes con frecuencia sobre la piel morena en el interior del pabellón de la oreja (banda de la oreja) y sobre la región ano-vulvar (mancha a-v).

La totalidad de este diseño de color de la piel,

incluso las marcas negras sobre la zona castaña, es lateralmente simétrica y de un parecido absoluto en las parejas de gemelos monozigóticos, al par que los dizigóticos ofrecen a menudo notables diferencias. Esto indica que todas las variaciones observadas tienen su explicación en las diferenciaciones genéticas.

La relación entre la intensidad del pelo negruzco debida al gene B_s en el pabellón de la oreja y en la región ano-vulvar no está muy clara todavía. En un grupo de 108 animales B_s de raza Jersey, pura sangre y de primera categoría, se encontró que 25 carecían de la banda de la oreja, y la mancha ano-vulvar faltaba en dos de ellos. Al hacerse una gradación de las vacas según la intensidad de su negrura en una escala de 1 a 14 y de la mancha a-v en una escala de 0 a 7, se obtuvieron los resultados siguientes:

Grado de negrura del pelaje	1	2	3	4	5	6	7–14
Número de animales	19	17	14	16	13	16	13
Tamaño medio relativo de la mancha a-v	2,8	3,1	3,6	3,5	3,7	4,6	4,5

Existía, pues, una marcada tendencia en los animales más claros de poseer manchas a-v pequeñas, pero esta correlación no era perfecta en manera alguna. Muchos animales de color muy oscuro tenían manchas pequeñas. Del mismo modo se comprobó que la banda de la oreja faltaba en 42% de todos los animales clasificados por su negrura en 1° y 2° lugar de la escala, al par que únicamente el 16% de los más oscuros carecían de semejante rasgo. Algunos animales muy oscuros, sin embargo, están desprovistos de la banda de la oreja.

4. OREJAS NEGRAS (b_e)

Las observaciones de los colores de la piel y del pelo llevadas a cabo en el rebaño de gemelos de Ruakura requieren la postulación de un nuevo factor (b_e). La distribución típica del pigmento de la piel de un animal que posee b_e, difiere del producido por el gene B_s en que tan sólo la piel de las ubres, vientre y pecho y los dos tercios superiores de la superficie interna de las orejas es castaña, mientras que el resto de la piel es negra, por lo menos en lo que pudo apreciarse. Este modelo típico es notablemente uniforme en todos los animales, y los gemelos monozigóticos no presentan diferencia alguna entre los individuos de una misma pareja.

El pelo del borde interno de las orejas tiene generalmente el color negro de azabache (Fig. 2*a*), pero se ha creído que ello obedece más a la acción recíproca de los genes b_e y B_s que a la del gene b_e aislado. Existen al presente en Ruakura dos parejas de gemelos monozigóticos con el modelo típico de b_e en cuanto a la distribución del color de la piel, aunque el color del pelo en el interior del borde de las orejas es más oscuro que el color principal del cuerpo en lugar del negro ordinario. A juzgar por la apariencia del color de su pelaje, estos animales no llevan consigo el gene B_s.

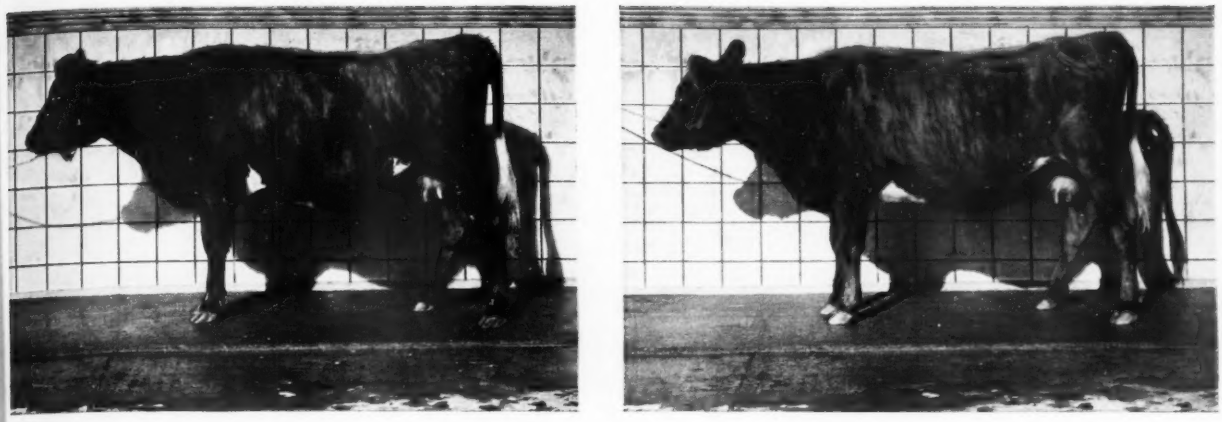
En un rebaño de 140 vacas Jersey de pura sangre y primera categoría, tan sólo 19 mostraron el modelo originado por b_e. Los registros genealógicos guardados en Ruakura sugieren que el tipo «orejas negras» es determinado por un simple gene recesivo.

5. MOSQUEADO (B_r)

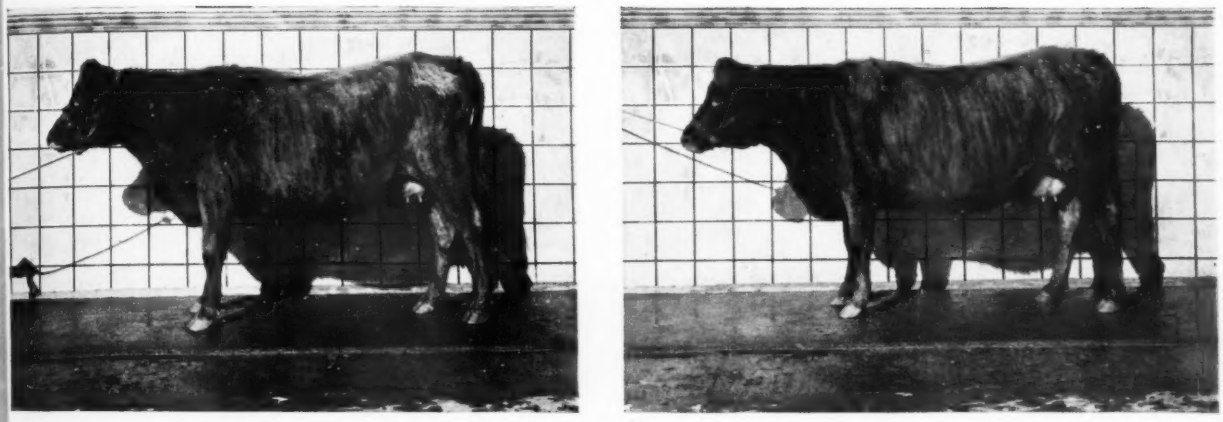
El mosqueado responde a un color que se compone de listas irregulares de pelo negro en un fondo rojo. El gene B_r puede actuar solamente en presencia del B_s para el pelo negruzco [4]. Hasta hace poco se ha prestado escasa atención a las variaciones del color mosqueado, a pesar de las notables diferencias de un animal a otro. El tipo más claro ostenta únicamente algunas listas azuladas en el hocico, que por otro lado es de color castaño, a la vez que en el extremo opuesto un animal puede ser casi de color negro azabache, debido a la intensidad de las listas negras. El mosqueado muy claro se puede tomar fácilmente por rojo.

Como el costado de un animal frecuentemente difiere algún tanto del otro en cuanto al mosqueado, no es de extrañar que los gemelos monozigóticos muestren ciertas diferencias dentro de la misma pareja. Las tres parejas de gemelos mosqueados de las Figs. 1*a*, *b* y *c* muestran sólo una pequeña porción de la extensión de las diferencias genéticas dentro de una misma pareja, mientras que la de la figura 1*a* muestra las mayores variaciones (no genéticas) dentro de una misma pareja observadas en cualquiera de los gemelos de Ruakura. Parece que hay que recurrir a la suposición de la existencia de otros muchos factores para explicar las variaciones genéticas que concurren en el color mosqueado.

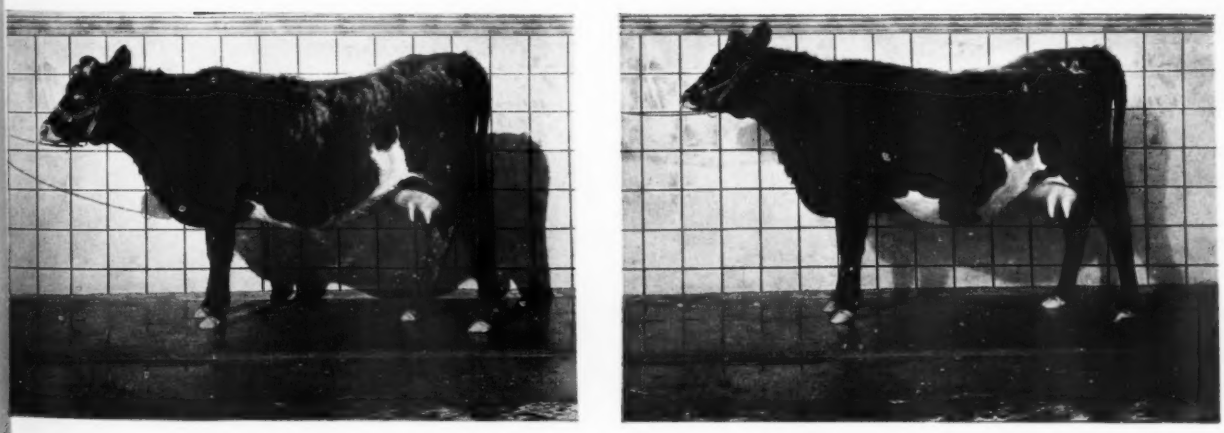
Los efectos del gene B_r sobre la pigmentación de la piel no se han observado anteriormente. La piel de un animal con B_r es de color castaño con listas azuladas de intensidad variable, tanto si el animal es B_s como si es b_e. La banda de la oreja



(a)

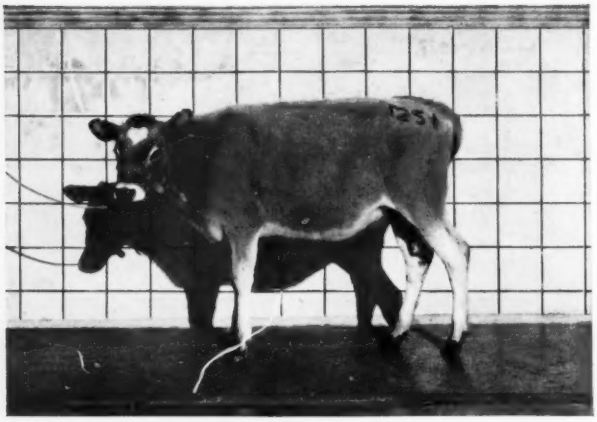


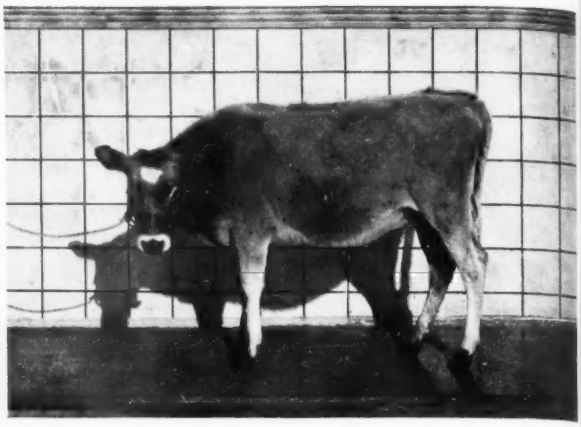
(b)



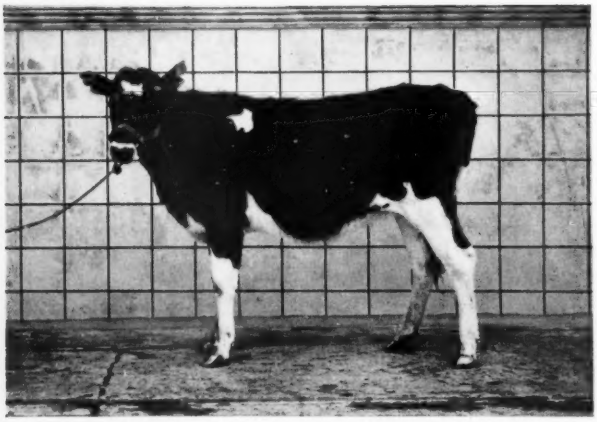
(c)

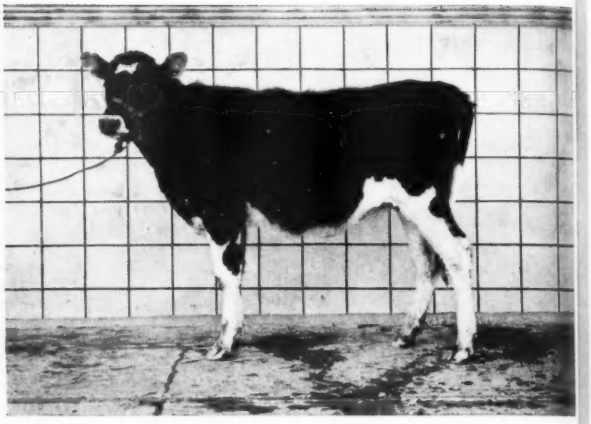
FIGURAS 1*a*, *b*, *c* – *Tres parejas de gemelos mosqueados uniovulares.*



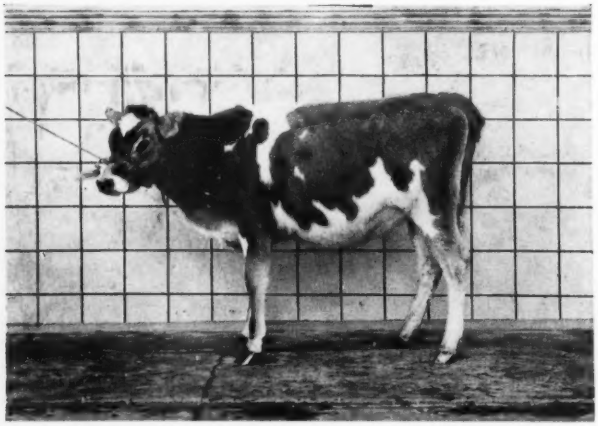


(a)



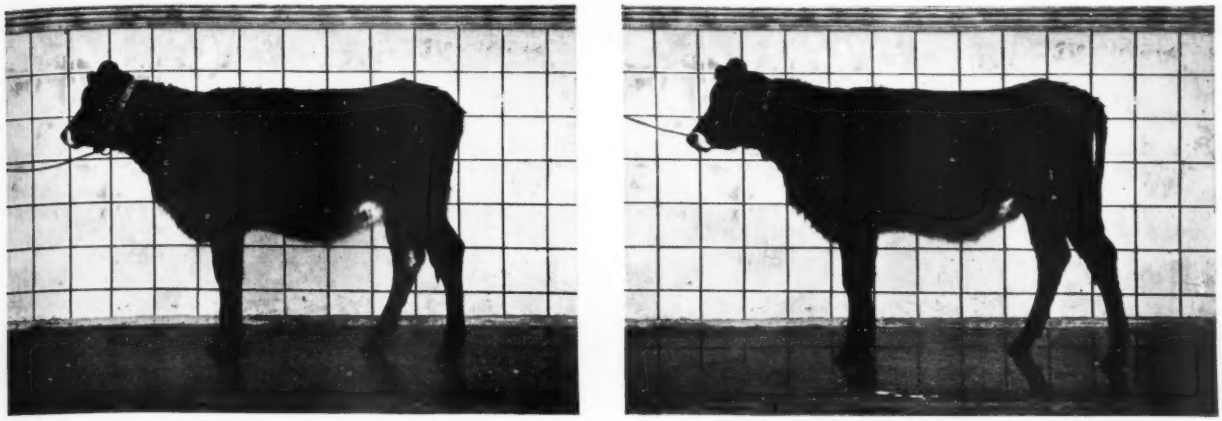


(b)

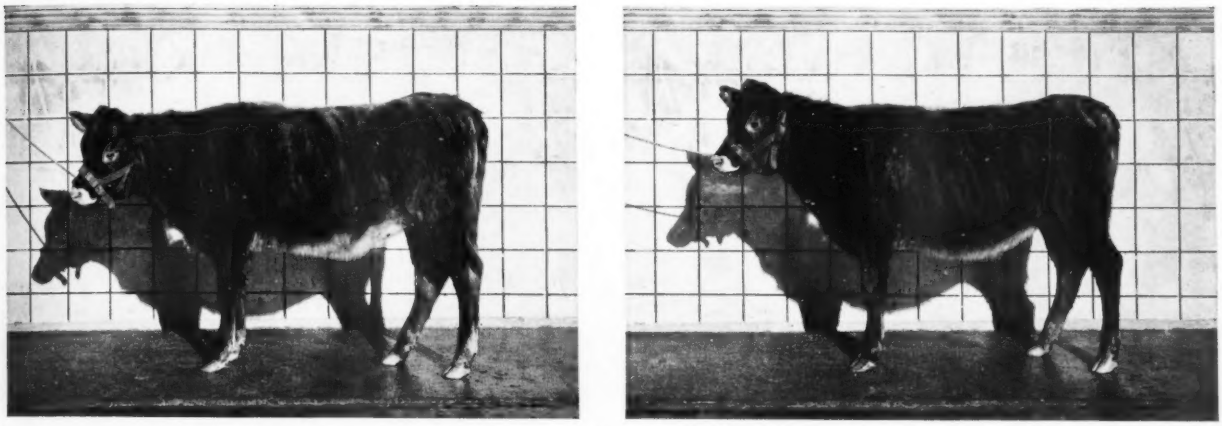


(c)

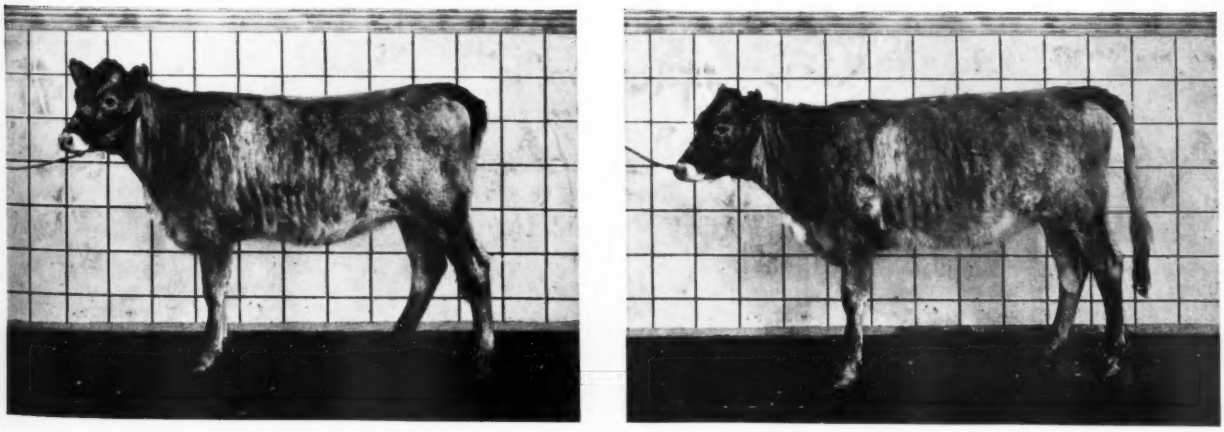
FIGURAS 2*a*, *b*, *c* – *Tres parejas de gemelos uniovulares mostrando varios grados de moteado blanco.*



(a)

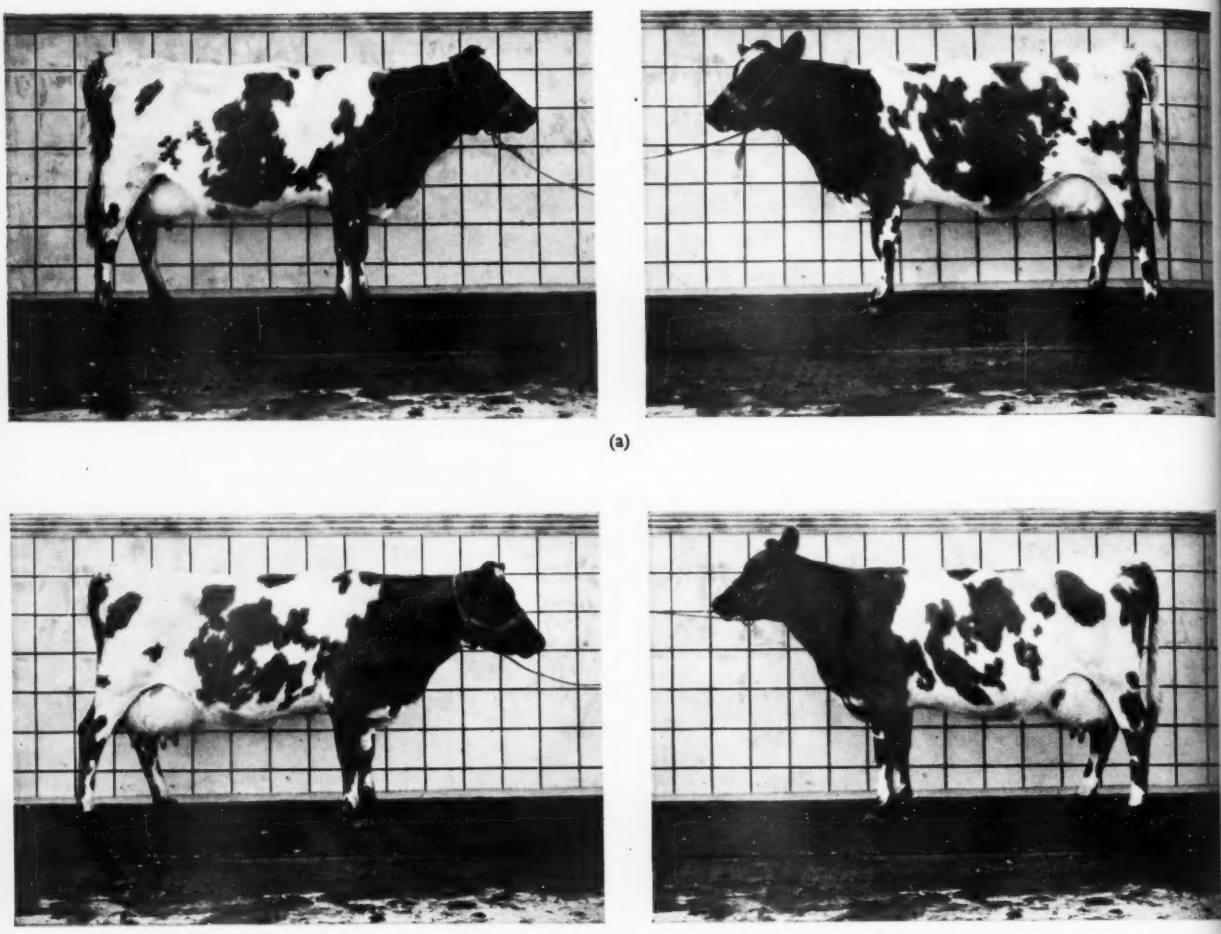


(b)



(c)

FIGURAS 3*a*, *b*, *c* – *Tres parejas de gemelos uniovulares mostrando diferentes grados de color ruano.*



(a)

(b)

FIGURAS 4*a*, *b* – *Costados derecho e izquierdo de los individuos de una pareja de gemelos blanco-moteados.*

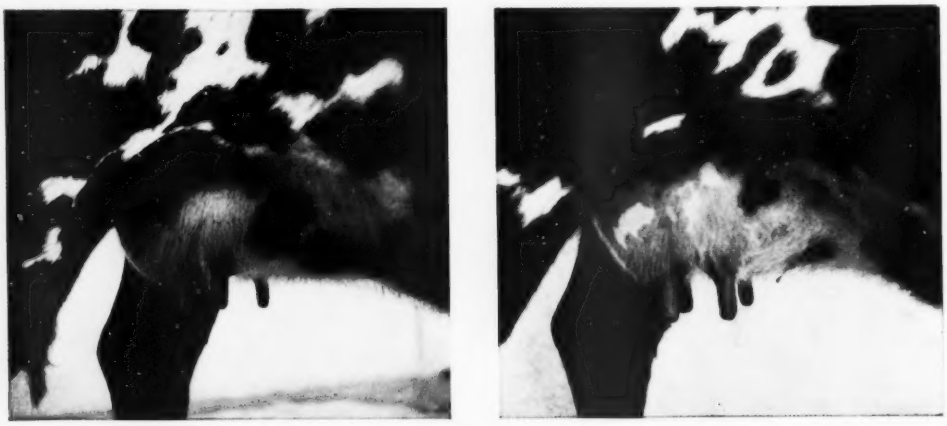


FIGURA 5 – *Las ubres de una pareja de gemelos uniovulares mostrando una gran densidad en las manchas de la piel.*

y la mancha ano-vulvar, comunes en los animales con B_s, desaparecen en presencia del gene B_r.

El factor E, que extiende el pigmento negro por todo el pelo, no es siempre epistático por completo con relación al factor B_r. Una pareja de gemelos en Ruakura que, según sus antecedentes genealógicos eran heterozigóticos para E, parecían ser de color negro azabache, pero examinados más de cerca se observó que eran indiscutiblemente mosqueados. Como su piel era negra, se ha podido suponer que B_r no afecta el pigmento de la piel producido por E. Berge y otros autores [5] han descrito un caso parecido.

6. MANCHAS BLANCAS RECESIVAS (S y s)

El factor S da lugar a que un animal esté pigmentado enteramente (autocoloreado). Su alelomorfo (s) inhibe el pigmento del pelo y de la piel en ciertas zonas. Ambos factores, heredados y no germinativos, influyen sobre la extensión de las zonas blancas. No obstante, se estima [6] que más de un 90% de las variaciones son de origen hereditario. Las observaciones sobre los gemelos de Ruakura parecen apoyar esta hipótesis. Las diferencias dentro de una misma pareja que señalan las variaciones no germinativas no son generalmente mayores que las existentes entre ambos costados del mismo animal (*Vid.* Figs. 4*a* y 4*b*). Las diferencias dentro de una misma pareja son muy grandes y abarcan desde animales totalmente blancos hasta los que tienen blanca solamente la punta de la cola.

Las tres parejas de gemelos monozigóticos de la Figs. 2*a*, *b* y *c* ilustran las diferencias en el tercio inferior de la porción mosqueada blanca entre las parejas y dentro de una misma pareja. Briquet y otros autores [6] preconizaron la necesidad de suponer la existencia, por lo menos, de cuatro pares de genes con objeto de explicar las diferencias genéticas en el moteado blanco.

7. RUANO (N)

El efecto del color ruano se origina por el entremezclamiento de pelo blanco y pigmentado. Se determina el ruano por el gene N en estado heterozigótico (Nn). Un animal homozigótico para el gene N, es totalmente blanco menos en el pelo pigmentado de las orejas [4].

El ruano varía continuamente, desde un color que parece formarse aproximadamente de igual número de pelo blanco y pigmentado hasta un color en que el pelo blanco es tan raro que los animales parecen autocoloreados. Como al comparar los gemelos monozigóticos con los gemelos hermanos se observa que las diferencias en el grado de intensidad del ruano son relativamente pequeñas, se hace indispensable atribuir a factores hereditarios la mayor parte de las variaciones observadas. Las tres parejas de gemelos de las Figs. 3*a*, *b* y *c* confirman este aserto. Se seleccionaron para esta ilustración solamente las variantes de la porción clara de la gama del ruano, pues los ruanos menos intensos podrían parecer en fotografía como autocoloreados. Ibsen [4] estableció el supuesto de un factor modificante (rm) que hace cambiar en rojo un animal genéticamente ruano (Nn). Parece necesario sin embargo presumir la existencia de una serie completa de modificantes para explicar todas las diferencias comprobadas en las parejas.

Las observaciones basadas en los gemelos indican que el gene N, sea en estado homozigótico o heterozigótico, no ejerce efecto alguno sobre el color del cuero. Por tanto, el color del cuero de un animal Nn o NN depende de que sea al mismo tiempo negro (E), rojo (R), negruzco (B_s), oreji-negro (b_e) o mosqueado (B_r). El moteado blanco (ss) puede observarse en animales homozigóticos para N (y por tanto blancos puros) mediante la presencia de zonas de piel no pigmentada. En contra, pues, de la opinión previamente admitida, el gene NN no es epistático con relación al moteado blanco (ss).

8. MOSQUEADO DE PIEL PIGMENTADA O NEGRA (P_s)

Se menciona este factor únicamente para llamar la atención sobre el modo en que su expresión difiere de la de un nuevo factor de piel mosqueada que describimos más adelante. El factor P_s da lugar a la presencia de manchas negras en la piel en zonas ordinariamente de color castaño [4]. En la actualidad no hay en Ruakura gemelos que tengan estas características, pero se han podido observar en algunas vacas del ganado Jersey.

9. MOSQUEADO DE PIEL CASTAÑO Y NEGRA (P_b)

Hay un tipo de piel mosqueada que aparece tan característicamente diferente del efecto P_s que se ha creído necesario atribuir este tipo a un nuevo factor (P_b). Las manchas producidas por el gene P_b son visibles tan sólo en la piel, que de otro modo sería no pigmentada, esto es, sobre zonas de la piel que están afectadas, por ejemplo, por el mosqueado blanco recesivo. El color de las manchas es negro o castaño, habida cuenta la presencia de otros genes. En animales negros (E), todas las manchas son negras, pero en animales B_s y b_e son negras o castañas, según se encuentren en zonas de piel

negra o castaña normalmente. En animales rojos (R) o mosqueados (B_r) las manchas son de color castaño o castaño mosqueado respectivamente.

La presencia o ausencia de manchas concuerda estrictamente en los gemelos monozigóticos. El tamaño, densidad y posición de las manchas varía de un animal a otro, pero como quiera que las diferencias observadas entre las parejas de gemelos son generalmente mayores que las que ocurren en una misma pareja, debe suponerse que el grado, lo mismo que la presencia de este tipo de mosqueado, estriba en factores heredados. El mosqueado de tipo P_b es tan común en el ganado Jersey y en el Jersey cruzado que es razonable la suposición de la presencia de un gene predominante.

En algunos casos, la densidad de las manchas puede ser tan grande que las zonas de la piel cubierta con pelo blanco, debido al gene s, son totalmente de color negro o castaño, en lugar de ser parcialmente no pigmentadas. Las ubres de un par de gemelos monozigóticos representados en la Fig. 5 ilustran un caso muy próximo de estas condiciones.

10. COMENTARIO Y CONCLUSIONES

Se ha tratado de comprobar que la mayoría de las variaciones que aparecen en el color de la piel y del pelaje del ganado se deben a diferencias genéticas. Los genes con efectos de color específico y graduado son muy numerosos y bien establecidos, pero no suficientes en sí mismos para explicar el número extraordinario de tipos de color distinto observados; una gran parte de ellos es en realidad producto de acciones recíprocas entre dos o varios genes independientes, mejor que el resultado de la actividad de un gene único.

Se puede comprender fácilmente que se produzcan por evolución muestras muy numerosas de color, especialmente en el ganado de la raza Jersey, mediante la combinación de varios modificadores de la manchas rojas, negruzcas y blancas, juntamente con los genes de «orejas negras» y piel pigmentada y aun de otros factores no estudiados en este artículo. En verdad, existen tantas combinaciones posibles que sería difícil, si no imposible, hallar en una población limitada de ganado Jersey dos animales que tengan exactamente los mismos colores. No es por tanto sorprendente que más de un 90% de los gemelos dizigóticos estudiados en Ruakura puedan distinguirse solamente por las diferencias en el color del pelo y de la piel aun cuando el examen se haya verificado al nacer, tiempo en que muchos efectos de color están poco desarrollados.

En cuanto a la herencia del color en general, hay que hacer hincapié en que la clave para muchos genes de color del pelo se halla en su efecto pleiotrópico sobre la pigmentación de la piel. Muchos animales negruzcos (B_s) u «orejas negras» (b_e), por ejemplo, no podrían distinguirse de los animales negros (E) a no ser por medio del tipo característico del pigmento de la piel. Del mismo modo muchos animales negruzcos se considerarían rojos si el color del pelo fuera el único criterio. Existen genes que diluyen el color rojo hasta tal punto que en algunos casos es imposible decidir si un animal es mosqueado blanco, excepto en el caso de la presencia de zonas de piel no pigmentada. Mediante recursos parecidos hay la posibilidad de descubrir el mosqueado blanco en animales que tienen todo el pelo blanco a causa de la acción del factor ruano (N) en estado homozigótico.

Los conocimientos de esta naturaleza proporcionan la base para la cría de ganado con varias combinaciones de colores del pelo y de la piel. Por ejemplo, podría conseguirse una cría con pelo blanco y piel negra, para mejor adaptarse a las condiciones tropicales, combinando el pelo blanco de la raza Shorthorn ruano-monozigótica con la piel negra de la raza Aberdeen Angus.

Las observaciones de los gemelos monozigóticos en Ruakura han hecho posible la postulación, por lo menos, de dos nuevos factores, b_e y P_b, que afectan los colores del pelaje y de la piel en el ganado. El factor b_e, que da lugar al pelo negro en el borde interno de las orejas en unión con el B_s, es esencialmente un factor de tipo de piel. El factor P_b es un factor de piel mosqueada que produce manchas negras o castañas, o las dos, de acuerdo con la composición genética de los animales.

BIBLIOGRAFIA

[1] LUSH, J. L. *J. Hered.*, **15**, 25, 1924.
[2] KRONACHER, C. *Z. Zücht.*, B, **25**, 327, 1932.
[3] HANCOCK, J. *N.Z. J. Sci. Tech.*, **31**, II, 1, 1949.
[4] IBSEN, H. L. *Genetics*, **18**, 441, 1933.
[5] BERGE, S. y MITLID, S. *Tidsskr. norske Landbr.*, 209, 1949.
[6] BRIQUET, R. (Jnr.) y LUSH, J. L. *J. Hered.*, **38**, 98, 1947.

Efectos de las radiaciones y de las drogas radiomiméticas

E. BOYLAND

Descripción de ciertas semejanzas notables entre los efectos biológicos de algunos compuestos vesicantes y carcinógenos, y los rayos X y otras radiaciones de ionización. Destructividad e inhibitoriedad de dichos efectos, y su aplicación en el tratamiento del cáncer y de la leucocemia. Posibles mecanismos de acción de las drogas radiomiméticas y en especial de «cross-linking» de los cromosomas.

El tratamiento de las enfermedades, el cáncer inclusive, mediante los rayos X y el radio empezó muy pronto a raíz del descubrimiento de estos tipos de radiación. En un principio no se tomaron en cuenta los peligros de su manipulación; un radiólogo alemán describió el primer cáncer debido a exposición a los rayos X [9], pero el cuidado, pericia y la mayor experiencia en el uso de los rayos X y del radio han reducido los peligros de este tipo de terapéutica. El resultado del tratamiento, sin embargo, depende con toda probabilidad del deterioro celular específico que se manifiesta con una grande variedad de efectos biológicos. Estos efectos son todavía objeto de investigación y en épocas muy recientes se han producido cambios semejantes mediante la aplicación de ciertas substancias químicas en lugar de las radiaciones ionizantes. Los cambios producidos tienen una semejanza tan grande con los que origina la radiación que P. Dustin [8] dió el nombre de radiomiméticas a dichas substancias químicas. Algunos de los efectos producidos por substancias de este tipo y por las radiaciones quedan especificados en la tabla siguiente.

Efectos producidos por radiaciones ionizantes y drogas radiomiméticas

1. Inhibición del crecimiento de tumores o de todo el cuerpo.
2. Inducción del cáncer en el lugar de acción.
3. Producción de deterioro cromosómico (Figs. 1–4).
4. Producción de mutaciones.
5. Muerte retardada con parecidos cambios *post mortem*.
6. Eritemas e inflamaciones.
7. Destrucción de virus.
8. Depolimerización del ácido nucleico *in vitro* (Fig. 7) y probablemente también *in vivo*.
9. Destrucción de los glóbulos blancos de la sangre (leucocitopenia).
10. Reducción de la capacidad de coagulación de la sangre, debida probablemente a la reducción del número de trombocitos circulantes.
11. Producción de zonas canosas en el pelo (Figs. 5 y 6).
12. Inhibición del desarrollo de la inmunidad causada por la producción de antibióticos cuando se administra un antígeno.
13. Destrucción del *complemento* (constituyente normal de la sangre necesario para la lisis de glóbulos rojos extraños).
14. Inhibición de las sulfidril – enzimas, como la dehidrogenasa de triosefosfato.
15. Producción de flictenas en la piel.
16. Hemoconcentración a causa de la retirada del agua de la sangre.
17. Náuseas y vómitos análogos a los de la radiación, y lesiones en la mucosa intestinal.
18. Hiperglicemia retardada.
19. Producción de anormalidades fetales durante el embarazo de los animales.
20. Equilibrio nitrogénico negativo, debido bien a un aumento de descomposición de proteínas, bien a una disminución en la síntesis proteínica.

A medida que avanzaba el siglo XX, se fueron empleando los rayos X y los procedentes del radio en muchos procesos técnicos y científicos. Muller estudió el caso de mutaciones (cambios discontinuos, permanentes y heredables) en la mosca *Drosophila*, y encontró que la exposición a los rayos X daba lugar a un aumento extraordinario en su aparición. Algunos años más tarde, Muller y Painter demostraron que el tratamiento con rayos X originaba daños, visibles al microscopio, en los cromosomas de las células en fase de división. Los cromosomas de las células irradiadas previamente, presentan con frecuencia anormalidades específicas tales como la fragmentación, la glutinosidad y el henchimiento (*Vid.* Figs. 1 y 2).

Las radiaciones ionizantes también producen efectos profundos en la sangre humana o animal; la disminución de glóbulos blancos, principalmente linfocitos, aparece como consecuencia de dosis relativamente pequeñas de radiación.

Los efectos vesicantes o productores de flictenas de la iperita (gas mostaza), el sulfuro di-β-cloroetílico, fueron descritos en el siglo XIX [16]

empleándose dicha substancia como arma química de guerra en 1917 y 1918. Durante la última guerra se estudiaron la iperita y otros vesicantes como las mostazas de nitrógeno (particularmente la metil di-β-cloroetil-amina (símbolo de código HN_2) y la tri-β-cloroetil-amina (símbolo de código HN_3). Se observó frecuentemente su capacidad de reducir el número de glóbulos blancos (o acción leucopénica) y se ensayaron, a causa de ello, en el tratamiento clínico de la leucemia y las enfermedades de las glándulas linfáticas. La acción leucopénica de la mostaza de nitrógeno es parecida a la de la irradiación. Otros efectos radiomiméticos de la iperita y mostazas de nitrógeno llevan consigo el aumento en la producción de mutaciones en la *Drosophila* [1], y la inducción del específico deterioro cromosomático [6] (*Vid.* Fig. 3). El deterioro que la iperita produce en el cromosoma es semejante al originado por los rayos X.

Las mostazas de nitrógeno y la misma iperita así como las radiaciones, son carcinogénicas, toda vez que producen tumores en los animales [4, 13]. El hecho de que se las haya considerado como anticarcinogénicas encaja bien en la paradoja aparente de que muchos de los elementos empleados para combatir el cáncer son asimismo carcinogénicos.

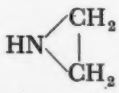
Las mostazas son sólo unos de los muchos agentes químicos carcinogénicos conocidos. Los hidrocarburos carcinogénicos, afines de los constituyentes del alquitrán de hulla, inhiben el crecimiento del cáncer y del tejido normal, como ha comprobado Haddow. Se ha podido constatar que gran número de diferentes compuestos aromáticos carcinogénicos inhiben el crecimiento de tejidos normales y malignos, originan mutaciones en la *Drosophila* [7], y dan lugar a deterioro cromosomático específico [14]. Así los cambios que acompañan el deterioro específico y limitado del cromosoma han sido observados también como efecto de los compuestos aromáticos carcinogénicos. Un ejemplo interesante de ello fué el empleo del más poderoso de los hidrocarburos carcinogénicos, el 9:10-dimetil-1:2-benzantraceno, en el tratamiento clínico de la leucemia.

Un efecto radiomimético fácilmente demostrable es la aparición de zonas canosas en el pelo (Figs. 5 y 6), descubierta en los ratones expuestos a los rayos X [12], con el uso de mostazas de nitrógeno [3], y con plutonio [15]. Este cambio parece ser permanente ya que los ratones a los que se ha inyectado mostaza de nitrógeno conservan sus parches canosos durante casi tres años. Como el cambio es discontinuo y permanente puede considerarse como una «mutación somática», análoga a la postulada en el caso de la transformación de las células normales en células cancerosas. No se ha realizado todavía una investigación histológica a fondo sobre la naturaleza de este cambio.

La acción de los rayos X depende posiblemente de los radicales oxhidrilos libres, separados del agua en el sistema. De ser así, los efectos de los rayos X podrían entonces ser reproducidos por radicales oxhidrilos libres. Estos se pueden producir en solución acuosa agregando un agente reductor como el sulfato ferroso al peróxido de hidrógeno. La inyección de agua oxigenada y sulfato ferroso (reactivo de Fenton) en ratones de color, ha producido el efecto típico de las canas.

Las radiaciones y las drogas radiomiméticas han causado otros muchos efectos, como se ve en la tabla, pero no todos los agentes producen la totalidad de dichos efectos. Así, los hidrocarburos carcinogénicos y substancias afines no originan fácilmente flictenas, o zonas canosas en el pelo y son incapaces de participar en reacciones en las que es indispensable la solubilidad en el agua. Los únicos efectos de posible utilidad son la inhibición del crecimiento del tumor y el tratamiento de la leucemia y enfermedades parecidas, y a esta meta se dirigen grandes trabajos de investigación.

La simple mostaza de nitrógeno (HN_2), se ha empleado profusamente en el tratamiento de la enfermedad de Hodgkin. Es eficaz pero muy tóxica; produce náuseas y debe administrarse en inyección intravenosa [11]. El más satisfactorio de los compuestos aromáticos es un derivado de la β-naftilamina, la di-β-cloroetil β-naftilamina, substancia que se ha ensayado profusamente en el tratamiento de la enfermedad de Hodgkin. Dicha substancia, administrable por vía bucal, no provoca náusea ni vómito. Los compuestos americanos más interesantes han sido las tetra-β-cloroetil-diaminas. Los trabajos en su conjunto parecían indicar que los compuestos activos contenían por lo menos dos centros reactivos pero recientemente se ha comprobado alguna actividad en compuestos monofuncionales como la etileno-imina



[2].

La necesidad aparente de dos grupos de reactivos ha llevado a sugerir [10] que las substancias actuaban como agentes de entrelace en los cromosomas. Los entrelaces formados perturbarían

FIGURA 1 – *Fotomicrografía de células en fase de división de un tumor normal* (Carcinoma Walker *de la rata); las células se ven al final de la división celular con dos núcleos hijos conteniendo los cromosomas enlazados.*

FIGURA 2 – *Células del* Carcinoma Walker *dividiéndose 24 horas después de irradiación con rayos X (300 r); los dos grupos de cromosomas hijos presentan puentes que impiden la separación del núcleo y los fragmentos de los cromosomas separados.*

FIGURA 3 – *Células del* Carcinoma Walker *dividiéndose 24 horas después del tratamiento de la rata con mostaza de nitrógeno (1 mg de metil di-β-cloroetil-amina por kg de peso del animal). Anormalidades parecidas a las que producen los rayos X.*

FIGURA 4 – *Células de* Carcinoma Walker *de una rata 24 horas después del tratamiento con 1 g de uretano por kg del peso del animal. Pueden observarse fragmentos de cromosomas entre los dos núcleos.*

(Las Figs. 1 – 4 (× 2100) se deben al Dr. P. C. Koller del Chester Beatty Research Institute.)

FIGURA 5 – *Ratón negro 4 semanas después de la irradiación de una parte de la piel con rayos X (1000 r). La zona irradiada pierde permanentemente la pigmentación, aunque el pelo sigue creciendo.*

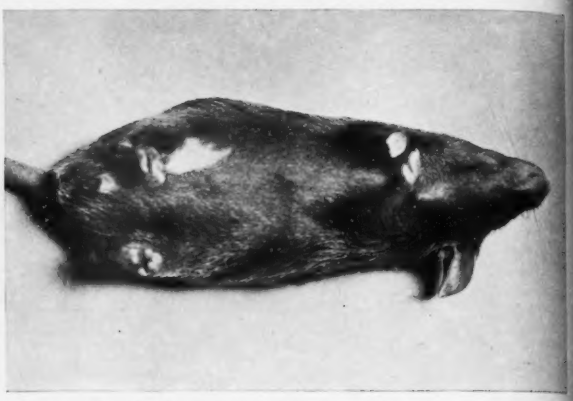
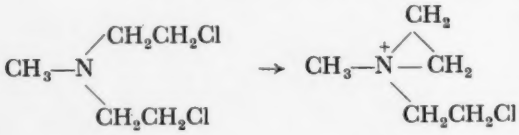


FIGURA 6 – *Ratón negro 4 semanas después de una inyección intradérmica de 0,001 mg de mostaza de nitrógeno.*

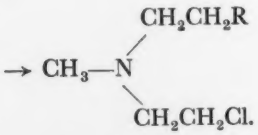
quizás la división de los cromosomas, de modo que las anormalidades podrían formarse al tiempo de la división celular. En la investigación de esta hipótesis se ensayaron varios agentes de entrelace, incluso los diepóxidos tales como el de butadieno

Se encontró que esta substancia inhibía el crecimiento tumoral y rompía los cromosomas, produciendo asimismo el cáncer. Si bien esto no tiene grande aplicación para la terapéutica, indica por lo menos que otros grupos reactivos capaces de alquilatar ácidos pueden substituir a los grupos cloroetilos de los compuestos de la iperita.

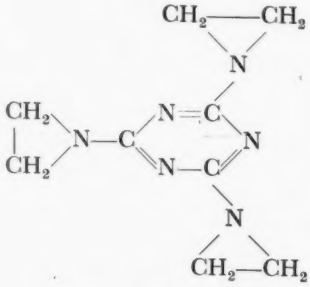
Las mostazas alifáticas de nitrógeno probablemente reaccionan a través de la formación intermedia de un anillo etileno-imina, por ejemplo:



HN2 *Imina*



El hecho de que las mostazas de nitrógeno actúen como etileno-iminas y posiblemente como agentes de entrelace, hace probable que una triazina trietilenimina:



descrita por el *Farbewerke* de *Hoechst* como un agente de entrelace para la lana, sea también un compuesto activo. La substancia se ensayó independientemente en Londres, Manchester y Nueva York, encontrándose que era muy activa; en la actualidad se emplea en el tratamiento clínico de la linfadenopatía. No provoca náusea y puede administrarse por vía bucal. Posee la desventaja de producir un descenso de la hemoglobina mayor que el causado por la mostaza de nitrógeno.

En algunos casos es posible calcular la dosis de compuestos y de radiación capaces de producir efectos equivalentes. En general, una dosis de 0,2 mg de mostaza de nitrógeno (HN2) por kg de peso del cuerpo, esto es, una concentración de 0,2 mg por litro, que es una millonésima molar ($M \cdot 10^{-6}$), equivale a la radiación con 100 r de rayos X. Aun cuando el uretano ocasiona algunos de los efectos de la mostaza de nitrógeno (*Vid.* Fig. 4), ésta es unas 10 000 veces más activa que el uretano para producir la rotura de los cromosomas en los tumores experimentales de los ratones. Es posible que los rayos X produzcan su

efecto descomponiendo el agua y liberando los radicales oxhidrilos dentro de la células. Una exposición a 100 r puede producir una concentración de radicales oxhidrilos libres de cerca de $0{,}3 \cdot 10^{-6}$ M. Así $0{,}3 \cdot 10^{-6}$ M de radicales oxhidrilos libres (u otros productos de radiación) y $1 \cdot 10^{-6}$ M de mostaza de nitrógeno (HN_2) producen efectos equivalentes, de manera que los productos de radiación pueden ser unas tres veces más activos que la mostaza de nitrógeno. Considerando la naturaleza de estos cálculos, la incertidumbre del modo de acción de ambos tipos de agente, y el hecho de que la radiación produce elevadas concentraciones locales, debe hacerse hincapié en que los productos originados por la radiación y la mostaza de nitrógeno presentan una actividad semejante cuando se comparan desde el punto de vista molecular.

Aun cuando los agentes radiomiméticos citotóxicos son capaces de obrar mediante entrelaces dentro de las células, existen pruebas de que ejercen una acción diferente. Examinando la acción de la mostaza de nitrógeno y de otros agentes [5] sobre el ácido timonucleico, se encuentra que los compuestos activos producen una depolimerización retardada o una rotura de la molécula del ácido nucleico, semejante a la encontrada [17] después de irradiación con rayos X. Una descomposición parecida del ácido nucleico, que puede ir acompañada de disminución de la viscosidad de la solución, ocurre cuando se producen radicales oxhidrilos libres en la solución de ácido nucleico. La razón entre la actividad de la mostaza de nitrógeno y los rayos X en la depolimerización del ácido nucleico es casi la misma que en los efectos biológicos, a saber: $M \cdot 10^{-6}$ metil di-β-cloroetil amina produce la misma depolimerización que 100 r de irradiación.

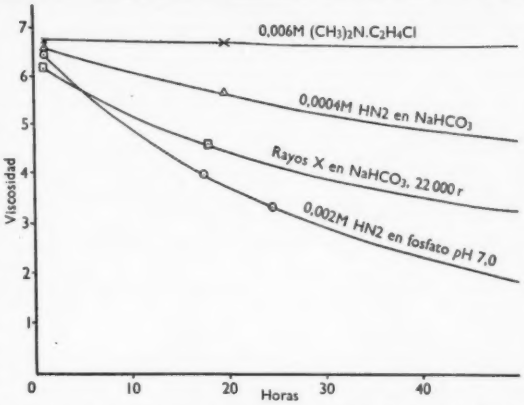


FIGURA 7 – *Curvas que muestran el lento descenso de la viscosidad que tiene lugar en las soluciones de ácido nucleico expuestas a los rayos X o a la mostaza de nitrógeno. El descenso en la viscosidad se debe a la descomposición de la estructura de la molécula del ácido nucleico. (Según el Dr. J. A. V. Butler.)*

Estos resultados sugieren la idea de que la radiación y la mostaza de nitrógeno actúan más bien por descomposición del ácido nucleico u otros constituyentes celulares que por entrelazamiento, aun cuando ambos mecanismos pueden desempeñar su papel. La actividad aumentada de los compuestos bifuncionales posiblemente se debe al hecho de que, después que un grupo ha reaccionado con un constituyente celular, se forma un radical libre mediante la reacción de un segundo grupo reactivo. Al formarse un radical libre dentro de la molécula de tejido, éste muy bien puede descomponerse.

La circunstancia de que vesicantes, hidrocarburos carcinogénicos y radiaciones ionizantes produzcan efectos semejantes, puede parecer algo extraño, pero dichos efectos son probablemente la manifestación de un poder destructivo limitado.

BIBLIOGRAFIA

[1] AUERBACH, C., ROBSON, J. M. y CARR, J. G. *Science*, **105**, 243, 1947.

[2] BIESELE, J. J., PHILIP, F. S., THIERSCH, J. B., BURCHENAL, J. H., BUCKLEY, S. M. y STOCK, C. C. *Nature*, **166**, 1112, 1950.

[3] BOYLAND, E., CLEGG, J. W., KOLLER, P. C., RHODEN, E. y WARWICK, O. H. *Brit. J. Cancer*, **2**, 17, 1948.

[4] BOYLAND, E. y HORNING, E. S. *Ibid.*, **3**, 118, 1949.

[5] BUTLER, J. A. V. y SMITH, K. A. *Nature*, **165**, 714, 1950.

[6] DARLINGTON, C. D. y KOLLER, P. C. *Heredity*, **1**, 187, 1947.

[7] DEMEREC, M. *Brit. J. Cancer*, **2**, 114, 1948.

[8] DUSTIN, P. *Nature*, **159**, 794, 1947.

[9] FRIEBEN. *Fortschr. Röntgenstr.*, **6**, 106, 1902.

[10] GOLDACRE, R. J., LOVELESS, A. y ROSS, W. C. J. *Nature*, **163**, 667, 1949.

[11] HADDOW, A., KON, G. A. R. y ROSS, W. C. J. *Ibid.*, **162**, 824, 1948.

[12] HANCE, R. T. y MURPHY, J. B. *J. Exp. Med.*, **41**, 339, 1926.

[13] HESTON, W. E. *J. Nat. Cancer Inst.*, **10**, 125, 1949.

[14] KOLLER, P. C. Comunicación privada.

[15] LISCO, H., FINKEL, M. P. y BRUES, A. M. *Radiology*, **49**, 361, 1947.

[16] MEYER, V. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **20**, 1729, 1887.

[17] TAYLOR, B., GREENSTEIN, J. P. y HOLLAENDER, A. *Cold Spr. Harb. Sym., Quan. Biol.* **12**, 237, 1947.

La goma natural

L. R. G. TRELOAR

Estudio de la relación entre las propiedades elásticas y termodinámicas de la goma natural y su estructura molecular de cadena larga. La resiliencia y el comportamiento de la goma cruda a temperaturas muy bajas y muy elevadas. Breve referencia al carácter fibroso, a la birrefringencia y al proceso de vulcanización.

Hasta principios del siglo pasado poco era lo que se conocía sobre la goma, y sus aplicaciones como materia industrial se inician en la tercera década, cuando Tomás Hancock logró hacerla mecánicamente manejable y Macintosh produjo la tela impermeable [6]. Sus aplicaciones crecieron contínuamente durante dicho siglo y en 1910 la producción de goma natural, especialmente en el Brasil, alcanzó a 81 000 toneladas anuales. Las plantaciones, comenzadas en 1876 a iniciativa del gobierno británico, con semillas de *Hevea brasiliensis* cultivadas en los Reales Jardines Botánicos de Kew, llegaron, después de un largo período de tanteos, a sobrepasar y a eliminar prácticamente el producto nativo, consolidándose como factor básico de la economía de la Malaya Británica y de las Indias Orientales Holandesas (Fig. 1). Cuando en 1942 se interrumpió el suministro, los aliados solamente se salvaron de un desastre gracias al desarrollo de la industria de la «goma sintética».

Aunque la investigación sistemática de la goma se ha desarrollado en el siglo actual, durante el pasado produjo ya varios estudios aislados y atrajo la atención de algunos de los científicos más notables. Entre las investigaciones iniciales se destaca la conferencia de Faraday en la *Royal Institution* el 3 de febrero de 1826 [3]. Según la reseña de la misma [4], «Faraday describió la naturaleza del cautchú (goma) y dió resultados del análisis de una savia inalterada». En esta conferencia, Faraday demostró que la goma que existe en el látex en forma de finas partículas en suspensión podía separarse de los constituyentes no gomosos por disolución sucesiva y desnatado. La goma purificada fué analizada químicamente y se vió que consistía solamente de dos elementos: carbono e hidrógeno en la proporción del 87,2% de carbono y 12,8% de hidrógeno.

Ahora se sabe que la goma pura es un hidrocarburo que tiene la constitución $(C_5H_8)_n$, correspondiente a 88,15% de carbono y 11,85% de hidrógeno. El análisis de Faraday no fué el primero publicado, pero fué el más exacto de su época. El hecho de que con los métodos y aparatos entonces disponibles consiguiera un resultado tan próximo al valor exacto es evidencia de la cuidadosa atención al detalle que transluce en todos sus trabajos.

Todavía había de transcurrir más de un siglo antes de que se consiguiera un conocimiento completo de la constitución química de la goma. Ahora sabemos que su peso molecular es muy elevado — mucho mayor que el que hace tiempo se creía posible — y que la molécula está formada de unas 5000 unidades del constituyente básico, isopreno (C_5H_8), y tiene un peso molecular medio de 350 000 (Fig. 2). Todavía más notable es que las unidades de isopreno están conectadas línealmente en forma de una cadena simple. La enorme longitud de esta cadena puede imaginarse considerando un modelo en el cual los átomos de carbono vecinos estuvieran a 12 cm de distancia; su longitud total sería de 1,6 km aproximadamente. Staudinger, a quien se debe el haber establecido la existencia de las largas estructuras de cadena de este tipo, les aplicó el término ahora familiar de macromoléculas.

MOLECULAS ELASTICAS

La elasticidad de la goma está íntimamente relacionada con su estructura macromolecular. Esto fué primeramente observado por K. H. Meyer quien notó el parecido de su estructura con la de un número de substancias de elevada elasticidad tales como la gelatina, colagén (la substancia de los tendones), la proteína muscular, la seda y ciertos compuestos sintéticos inorgánicos. Observó que las vibraciones térmicas normales y las rotaciones de los átomos constituyentes de una molécula de cadena larga deben ser la causa de que se aparte de la forma simple de una alineación rectilínea y tome la forma angulosa, retorcida, irregular y contínuamente fluctuante. Observó, también, que en tales condiciones la molécula

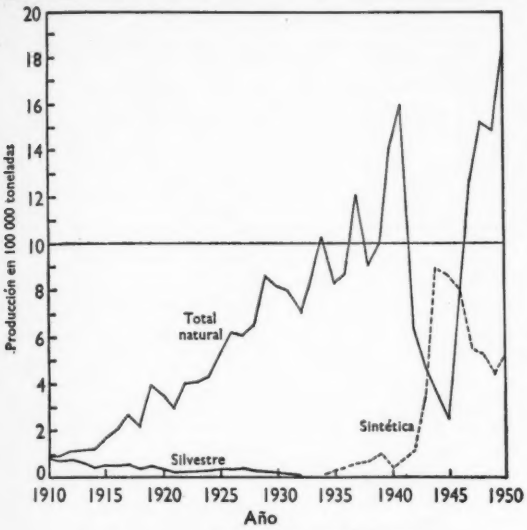


FIGURA 1 – *Producción anual de goma.*

debe ser elástica, ya que si se la retiene completamente extendida y luego se la suelta, volverá rápidamente a una configuración angulosa estadísticamente más probable.

En la Fig. 3 intentamos ilustrar la forma de una macromolécula tal como aparecería, por ejemplo, en una solución diluída, tomada de una fotografía de un modelo. Este modelo representa el tipo de estructura más simple de larga cadena, la molécula de parafina o polietileno $(CH_2)_n$, consistente en una cadena de átomos de carbono unidos entre sí por enlaces simples de tal forma que el ángulo entre enlaces consecutivos es de 109,5°. El número de enlaces es de 1000 en el modelo. Si imaginamos una molécula construída de esta forma pero con un número veinte veces mayor de atomos de carbono, tendremos una cierta idea de la complejidad de la forma de una cadena de goma corriente.

Pueden deducirse importantes conclusiones aplicando la termodinámica a la teoría estadística o cinética de la elasticidad de Meyer. Dos de ellas

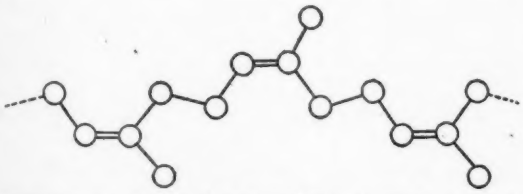


FIGURA 2 – *Sección de una molécula de goma mostrando tres unidades de isopreno. Los átomos de hidrógeno han sido omitidos.*

poseen una significación histórica especial. Puede mostrarse, primeramente, que la goma puede engendrar calor de forma reversible al ser extendida, y en segundo lugar que la tensión en una pieza de goma extendida debe crecer al aumentar la temperatura o bien, alternativamente, que su longitud debe reducirse si la tensión se mantiene constante. Estos dos efectos fueron demostrados por Gough en 1805 y confirmados por Joule en 1859. La Fig. 4 muestra los valores de Joule para el calor de extensión de la goma vulcanizada, mientras que la Fig. 5 da la relación entre la tensión y la temperatura observada por Meyer y Ferri. Los efectos son apreciables y de fácil demostración. Lord Kelvin, que cooperó con Joule, mostró que ambos efectos están relacionados termodinámicamente, siendo el uno consecuencia del otro.

Físicamente los efectos de Gough-Joule tienen una simple interpretación. Como la tensión

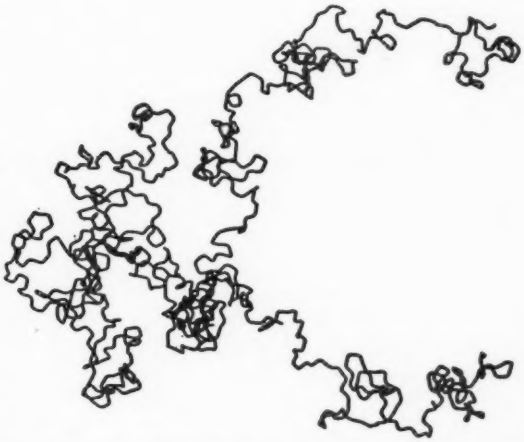


FIGURA 3 – *Modelo de una cadena de polietileno con* 1000 *enlaces.*

elástica tiene su origen en el movimiento térmico de los átomos de las cadenas moleculares, un aumento de temperatura, que naturalmente incrementa la energía cinética de los átomos, aumenta automáticamente la tensión elástica. Además, cuando se estira un trozo de goma a temperatura constante, la energía cinética molecular media (que es solamente una función de la temperatura) no resulta afectada. El trabajo realizado en la goma por la fuerza de alargamiento se convierte pues en calor. Ambos efectos son estrictamente análogos al fenómeno que muestran los gases bajo la acción de una fuerza de compresión. Según las conocidas leyes de los gases, la presión a volumen

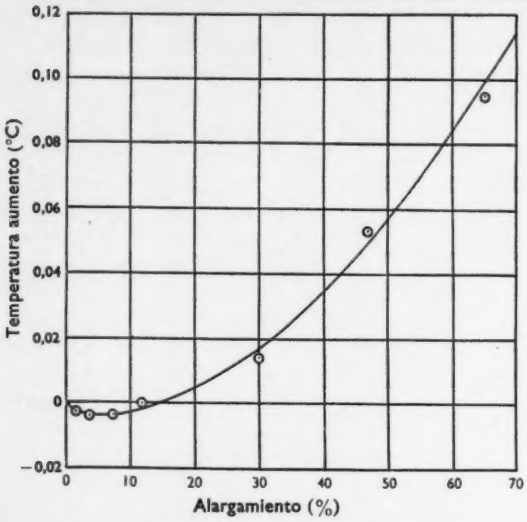


FIGURA 4 – *Cambio de temperatura debido a la rápida extensión de la goma vulcanizada (Joule, 1859).*

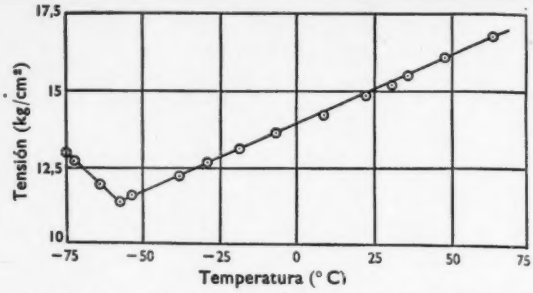


FIGURA 5 – *Relación entre la tensión y la temperatura (Meyer y Ferri, 1935). Goma vulcanizada, extensión del 350%.*

constante es proporcional a la temperatura absoluta y un aumento de presión (con la correspondiente reducción de volumen) va acompañado de la producción de calor. Tanto en la goma como en los gases la elasticidad nace de la misma causa fundamental: un movimiento térmico irregular.

CAMBIOS DE ESTADO

La Fig. 5 indica cómo la relación entre la fuerza de tensión y la temperatura cesa de ser válida para bajas temperaturas, o sea por debajo de — 60° en el caso de la goma vulcanizada. Esto es debido a que a estas bajas temperaturas las fluctuaciones térmicas que constituyen la base necesaria para la elasticidad no pueden tener lugar, siendo la energía cinética insuficiente para vencer las fuerzas eléctricas de atracción entre cadenas vecinas. Bajo tales condiciones la goma pierde sus propiedades características y se convierte en un sólido duro, quebradizo, parecido al vidrio. Esto se demuestra fácilmente sumergiendo en aire líquido un pedazo de goma, que adquiere marcada rigidez y fragilidad.

El fenómeno de la congelación de la estructura de cadena irregular a bajas temperaturas no es la única causa de la pérdida o modificación de las propiedades elásticas normales de la goma. Esto puede también conseguirse por cristalización, la cual tiene lugar cuando se mantiene la goma por un período suficientemente largo a temperaturas alrededor de 0° o más bajas. La cristalización es un proceso lento, que puede tardar varias semanas para completarse; produce un considerable aumento de dureza y pérdida de extensibilidad, pero no fragilidad.

La cristalización implica la reorganización de las partes vecinas de una larga cadena molecular en una estructura regular o de celosía. La presencia de cristales se revela por medio de los rayos X. La goma ordinaria o amorfa da unas figuras de difracción radiográfica de gran parecido a las de un líquido: uno o más halos difusos o anchos anillos. La goma cristalina, por otra parte, da una figura de anillos definidos como los de un polvo cristalino, superpuestos a un fondo amorfo o difuso. Tal figura tiene sólo una interpretación: que la goma contiene diminutos cristales, pero que su estado de cristalización es incompleto; o bien, que debemos considerar a la goma como una mezcla íntima de componentes cristalinos y amorfos (Fig. 6(*a*)); esto se debe a que las moléculas son mucho más largas que los cristalitos y como están entrelazadas mutuamente en forma muy compleja, no pueden separarse en entidades individuales.

A causa de las conexiones moleculares continuas entre los componentes cristalinos y amorfos de la goma, el punto de fusión de los cristales no queda exactamente definido, sino que depende de las condiciones de cristalización. El punto de fusión es siempre varios grados más elevado que la temperatura a la cual ha tenido lugar la cristalización. De aquí que la goma cristalina y la goma amorfa puedan coexistir por tiempo indefinido.

PROPIEDADES FIBROSAS

La goma puede cristalizarse no sólo por enfriamiento sino también por alargamiento. Especialmente en el caso de la goma no vulcanizada, los cambios de propiedades físicas producidos por tal cristalización orientada son muy notables. Los

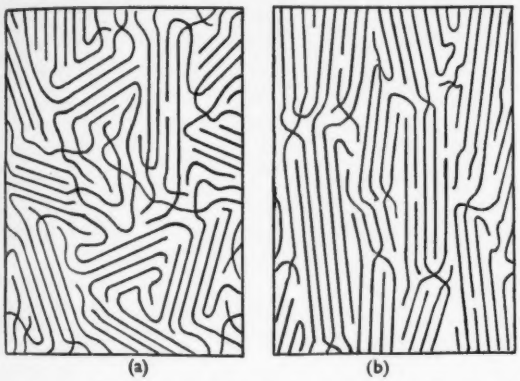


FIGURA 6 – *Representación de la estructura molecular de la goma cristalina,* (a) *sin estirar,* (b) *estirada.*

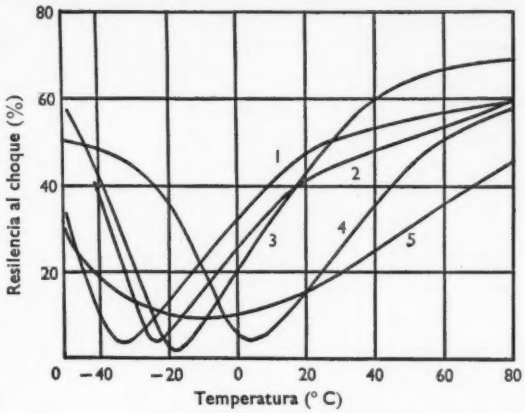


FIGURA 7 – *Resilencia al choque de varias gomas, como función de la temperatura* (*Mullins,* 1947).
1. *Natural.* 2. *GR–S* (*butadieno-estireno*). 3. *Neopreno* (*policloropreno*). 4. *Hycar OR* 15 (*butadieno acrilonitrilo*). 5. *Butilo.*

pequeños cristales formados por el alargamiento están orientados según la dirección del mismo (Fig. 6(*b*)), y son causa de que el alargamiento se mantenga incluso en ausencia de la tensión. Al aumentar la temperatura, sin embargo, los cristales se funden y la goma vuelve inmediatamente a su longitud de antes del alargamiento.

La goma cristalina alargada posee las propiedades características de una fibra, o sea, la gran resistencia en la dirección del eje de la fibra, con una menor resistencia en la dirección transversal. Esto fué descubierto por Hock en 1924 quien congeló goma en bruto estirada mediante aire líquido y la martilleó, viendo que podía dividirla en fibras, al igual que un trozo de madera. Este efecto fué utilizado por Hock como argumento en favor de su teoría de que la goma cristaliza al estirarla, teoría que fué confirmada finalmente por la prueba mediante rayos X llevada a cabo por Katz el año siguiente.

La íntima relación entre la cristalización y las propiedades fibrosas queda aclarada en la tabla, adjunta, que da la resistencia a la tracción de un número de substancias.

Resistencia a la tracción (*calculada según la sección transversal en el momento de rotura*)

Substancia	*Carga de rotura* (*kg/cm²*)
Acero (cuerda de piano) ..	20 470
Lino	8 980
Nylón	6 920
Algodón, seda	5 980
Goma (natural)	3 460
Rayón (viscosa)	2 990
Lana	2 050
Vidrio (placa)	2 050
«Goma sintética» (GR–S) ..	315

Las fibras más resistentes (lino, algodón, nylón) son altamente cristalinas. El rayón-viscosa (celulosa regenerada) posee según Hermans [5] un grado cristalino menor que la celulosa natural. La goma natural es más resistente que el vidrio, pero la goma GR–S que no cristaliza es muy débil relativamente. Sin embargo, puede reforzársela mediante un tratamiento adecuado.

PROPIEDADES OPTICAS

Mediante estirado, la goma adquiere birrefringencia, la cual aumenta al producirse la cristalización. Esta doble refracción puede demostrarse estirando una delgada lámina de goma entre dos placas «Polaroid» cruzadas; para extensiones pequeñas se observa una birrefringencia normal según el esfuerzo, pero para un alargamiento de un 250%, cuando comienza la cristalización, aparece un marcado aumento de la birrefringencia. Las diferencias entre un polímero amorfo (por ejemplo, el cloruro de polivinilo), un polímero cristalizable (por ejemplo, la goma natural) y un polímero completamente cristalino (por ejemplo, el politeno) sometidos a tensiones son muy notables.

RESILIENCIA

Una de las propiedades más notables de la goma es su resiliencia o rebote. No todas las gomas poseen en grado igual esta cualidad. La goma de butilo, por ejemplo, aunque pasablemente

elástica bajo esfuerzos de baja velocidad muestra una reducida elasticidad o resiliencia bajo condiciones de rápida deformación tales como las que ocurren cuando una pelota bota contra el suelo (Fig. 7). Al aumentar la temperatura hasta unos 100° su resiliencia es comparable a la de la goma natural.

En todas las gomas, el descenso de temperatura causa una disminución de la resiliencia hasta valores muy reducidos, pero si la temperatura desciende todavía más la resiliencia vuelve a aumentar. Este fenómeno está asociado con el cambio de configuración de las cadenas moleculares que acompaña a tal deformación. Cuando la velocidad de reajuste de las cadenas se reduce tanto por el descenso de temperatura que pasa a ser comparable con el tiempo de deformación (o sea, del orden de una milésima de segundo) la reacción es mala y tiene lugar una pérdida de energía a través de la viscosidad interna. No obstante, si la temperatura es tan baja que la goma se hiela hasta tener una dureza como el vidrio, la ordenación molecular cesa completamente. La resiliencia se debe entonces a un tipo diferente de elasticidad, como la existente en el vidrio o el cristal y la alta deformabilidad característica de los materiales gomosos cesa de existir.

VULCANIZACION

Al principio de la manufactura de la goma se descubrió que la pérdida de las propiedades elásticas debida a la cristalización constituía una seria desventaja, especialmente en los climas fríos. Un inconveniente todavía mayor era la gomosidad o fluidez que aparecía en tiempo caluroso.

El reblandecimiento de la goma a temperaturas más elevadas se debe a dos causas. Esencialmente la goma puede considerarse como un líquido de elevada viscosidad. Las moléculas pueden moverse la una respecto a la otra, pero debido a los enlaces mutuos entre las largas cadenas, sus posiciones relativas se alteran muy despacio. A medida que la temperatura aumenta, la velocidad de la difusión molecular también crece, disminuyendo la viscosidad correspondientemente. Esta reducción de viscosidad conduce a una pérdida de resistencia y a una deformación plástica bajo esfuerzo, aunque no altera permanentemente las propiedades de la goma.

La segunda causa del reblandecimiento, y particularmente de la pegajosidad característica de la goma en bruto, es la oxidación, que crece con la temperatura y que resulta acelerada por la acción de la luz. La oxidación conduce a la rotura de las moléculas de larga cadena en segmentos más cortos, y este efecto es muy pernicioso ya que la viscosidad de la goma decrece así muy rápidamente. De manera distinta al reblandecimiento puramente térmico, la degradación química es un proceso irreversible conducente a una pérdida permanente de las propiedades elásticas.

El gran problema de la eliminación de esta pegajosidad indeseable fué resuelto en 1839 por Charles Goodyear y en 1842 independientemente por Tomás Hancock, inventores del proceso conocido por vulcanización. Esta consiste en la combinación de la goma con el azufre, sirviendo los átomos de este último como enlaces transversales entre las cadenas, con la consiguiente formación de una malla contínua. La indeseable fluidez, que depende del deslizamiento intermolecular, queda así completamente suprimida. Es también sorprendente que la tendencia a la cristalización queda reducida y que, cuando ésta tiene lugar, sus efectos sobre las propiedades mecánicas de la goma no son tan apreciables.

BIBLIOGRAFIA

[1] GOODYEAR, C. «Gum Elastic», Vol. 1. New Haven, 1855.
[2] MEMMLER, K. «Science of Rubber». Reinhold, Nueva York, 1934.
[3] *Quart. J. Sci. Arts, R.I.*, **21**, 19, 1826.
[4] *Ibid.*, **21**, 130, 1826.
[5] HERMANS, P. H. y WEIDINGER, A. *J. Appl. Phys.*, **19**, 491, 1948.
[6] HANCOCK, T. «Personal Narrative». Longman, Brown, Green, Longman and Roberts, Londres, 1857.

El estudio del desarrollo y formas vegetales

C. W. WARDLAW

Revista del desarrollo de los estudios de morfogénesis y morfología vegetal, con referencias a los escritos más importantes, desde 1759 hasta hoy.

MALPIGHI, WOLFF Y GOETHE

Los fundadores de la anatomía vegetal, Malpighi y Grew, reconocieron ya algunos de los problemas del desarrollo. Por ejemplo, en su *Anatomia Plantarum* (1685), Malpighi admite los problemas del desarrollo de la semilla y de la formación de hojas. Pero no tenemos prueba evidente de la comprensión del problema general de la génesis de las formas hasta 1759, cuando Kaspar Friedrich Wolff, en su *Theoria Generationis*, anunció el descubrimiento del punto apical de crecimiento, o *punctum vegetationis*. A Wolff le preocupaba la cuestión general del origen y conformación de las partes nuevas. ¿Se debía su desarrollo simplemente al crecimiento y expansión de órganos ya presentes, o se producía la formación de nuevas partes durante el crecimiento? Wolff pudo demostrar que en la yema de la hoja no se encuentran presentes todos sus rudimentos, sino que éstos van apareciendo sucesivamente en la parte superior del eje de la hojita, esto es: en el punto vegetacional. Vemos pues aquí el origen de un concepto general sobre el desarrollo y la indicación de un posible método para la obtención de datos; pero Wolff no tuvo seguidores inmediatos, y las investigaciones botánicas continuaron en otras direcciones.

Es curioso constatar que Goethe, a quien debemos el término «morfología» no parece haber conocido los estudios de Wolff. Goethe fué un observador independiente, un filósofo que estudió cuidadosamente las plantas con el deseo de llegar a una concepción general que sistematizase la gran diversidad de formas que él observaba tanto en la naturaleza como en la planta más sencilla. Su teoría de la metamórfosis (1790) está relacionada, naturalmente, con la morfogénesis, ya que trata de «las leyes de transmutación según las cuales la naturaleza deriva una parte de otra y produce una infinita variedad de formas por medio de la modificación de un sólo órgano . . . denominándose *metamórfosis de las plantas* al conjunto de procesos que causan la variación de formas de un mismo órgano». La lectura de su obra muestra la fascinación que sobre él ejercían las formas cambiantes y su interés en los procesos básicos. Pero sus ideas generales sobre las formas vegetales tienen un carácter muy impreciso: no están relacionadas con ningún proceso tangible y por lo tanto no pueden dar origen a trabajos experimentales.

VON MOHL, NAEGELI Y SCHLEIDEN

Los continuadores de Goethe habían progresado muy poco en la investigación de la estructura y forma vegetales y muchos de ellos se caracterizaban por su actitud dogmática y escolástica y su apego a los principios de la morfología idealista. Se habían tratado, sin embargo, otros temas, realizándose trabajos muy valiosos en la botánica sistemática. Alphonse de Candolle dice de los estudios biológicos en los primeros años del siglo XIX: «Tras las grandes guerras de principios de siglo, las colecciones botánicas se enriquecieron merced a las numerosas y lejanas exploraciones de los sabios naturalistas. Infinidad de especímenes, animales y vegetales, llegados de todos los rincones de la tierra, exigían imperativamente su descripción, nomenclatura y clasificación. La ciencia quedó, por así decirlo, inundada; y en el estudio, aunque más no fuera, de las formas más aparentes había suficiente material para fatigar a toda una generación de estudiosos. Estos trabajos se hallaban ya en progreso cuando se inventaron mejores microscopios y se perfeccionó su manejo, de modo que aumentó en todas direcciones el número de objetos observables. Tales investigaciones pasaron a ser el estudio favorito de casi la mitad de los naturalistas.»

Lo que realmente originó la nueva fase en los estudios científicos fué la aparición simultánea de un número de brillantes investigadores. Hugo von Mohl estudió la división celular; estableció el término «protoplasma» y varias de las ideas fundamentales relacionadas con tal concepto; señaló la célula como la unidad de construcción del cuerpo vegetal; y, en breve, restableció los estudios de anatomía vegetal. Después, en 1842, Schleiden publicó su *Grundzüge der Botanik*, obra descrita por Goebel como una de las más notables de toda la historia de la botánica. Su autor predicaba en ella

un nuevo evangelio: que la ruta hacia el progreso botánico es la del estudio de los procesos de crecimiento y que el conocimiento de éstos es la base de la comprensión de la morfología. No se trataba de que los trabajos botánicos de Schleiden eran de primer orden — en realidad cometió muchos errores — sino de la idea clara que tenía de cuál fuese el verdadero problema y de sus opiniones sobre la dirección equivocada que seguían los estudios de sus contemporáneos. Vió los errores de la ciencia botánica y los denunció sin ambages, así como a quienes los perpetraban. Tales críticas resultaron un gran estímulo, al menos para la generación joven de botánicos, en quienes causaron una profunda impresión. La clave de la morfología — insistía — se halla en el estudio del crecimiento, así como la clave de la fisiología está en el estudio de la célula viva. Cuando tratamos de explicar o interpretar lo que observamos en organismos vivos, estamos completamente desorientados si, como él dijo, «no los concebimos como algo que se desarrolla, que está en perpetuo cambio».

También Naegeli, durante los años 1844–46, se interesó en el estudio de la formación celular en los órganos vegetativos en crecimiento y en la averiguación de si dicho proceso era idéntico en las criptógamas inferiores y en las plantas vasculares. Descubrió, en efecto, la célula apical, característica de la organización de numerosas plantas, y debemos a él y a von Mohl la teoría de la formación celular. Era éste un descubrimiento importantísimo, ya que dirigía la atención hacia los ápices vegetativos como regiones formativas fundamentales de la planta: una doctrina que aún hoy prevalece cuando nos concentramos en el estudio del meristema del tallo como región morfogenética primaria. La concepción de crecimiento de Naegeli aparece resumida como sigue en la *Geschichte der Botanik* (Historia de la Botánica) de Sachs: «Como todo en la naturaleza se halla en estado de flujo y cada fenómeno es transitorio, presentándose especialmente en la vida orgánica como la historia de un desarrollo, tenemos que prestar debida atención a dicho carácter y a su constante movilidad si hemos de formar concepciones científicas adecuadas.»

Las criptógamas inferiores fueron el objeto principal de las investigaciones de Naegeli sobre los ápices, pero más tarde las extendió a las criptógamas superiores (helechos y similares) y a las fanerógamas (plantas de semilla): esto es, pasó del estudio de las organizaciones más simples a las más complejas y difíciles. En estrecha relación con esta innovación metodológica, tomó la nueva doctrina celular como punto inicial de la morfología: el desarrollo inicial de los órganos y su siguiente crecimiento se hallan relacionados con la formación de las células individuales. Demostró que el ápice de numerosas criptógamas es una sóla célula y que todas las células siguientes que forman el tejido resultan de la división de esta célula según leyes fijas. Estas observaciones, ampliadas por Hofmeister y otros, han servido de base a numerosos desarrollos de la ciencia botánica. Sachs ha rendido a Naegeli el homenaje de decir que fué el primero en intentar una explicación mecánico-física de los fenómenos de la vida orgánica, al referir el crecimiento y estructura interna de los organismos vivos a procesos químicos y físicos.

Resultado importante de los trabajos de Naegeli y sus seguidores fué la observación de un vasto número de detalles informativos sobre la estructura de las regiones de crecimiento de las plantas, llegándose a conocer así datos especialmente valiosos para las investigaciones morfogenéticas.

HOFMEISTER Y SACHS

Los trabajos de Hofmeister, por medio de exactos dibujos y descripciones, suministran una gran cantidad de nuevos datos sobre el desarrollo de los gametofitos y esporofitos de las briofitas, pteridofitas y plantas de semilla. Estos estudios son quizás mejor conocidos por haber establecido los fundamentos de nuestro conocimiento de la alternación de las generaciones. Pero no es menos importante que, al mismo tiempo, facilitó gran número de datos esenciales sobre los cambios morfológicos y estructurales progresivos durante el desarrollo individual. Estos estudios descriptivos ofrecían aún otro interés: prepararon el camino para el subsiguiente estudio de los factores básicos de los cambios observados.

Otro importante trabajo descriptivo e ilustrado en el que se estudia en considerable detalle la organogénesis floral, la *Organogénie de la Fleur* de Payer, se publicó hacia la misma época, en 1852.

Al ir progresando, el trabajo de Hofmeister perdió su carácter meramente descriptivo. Ya no le satisfacía la simple observación de los cambios característicos de forma y estructura que se producían en regular sucesión durante el desarrollo de una especie dada; ahora le preocupaba el problema de cómo se había producido la forma observada, a qué procesos de crecimiento podían relacionarse los desarrollos estructurales notados,

FIGURA 1 – *Wilhelm Hofmeister (1824–77)*

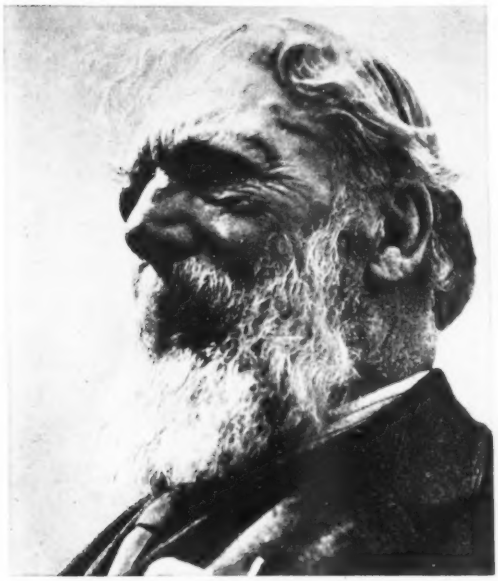


FIGURA 2 – *Sir D'Arcy Wentworth Thompson (1860–1948).*

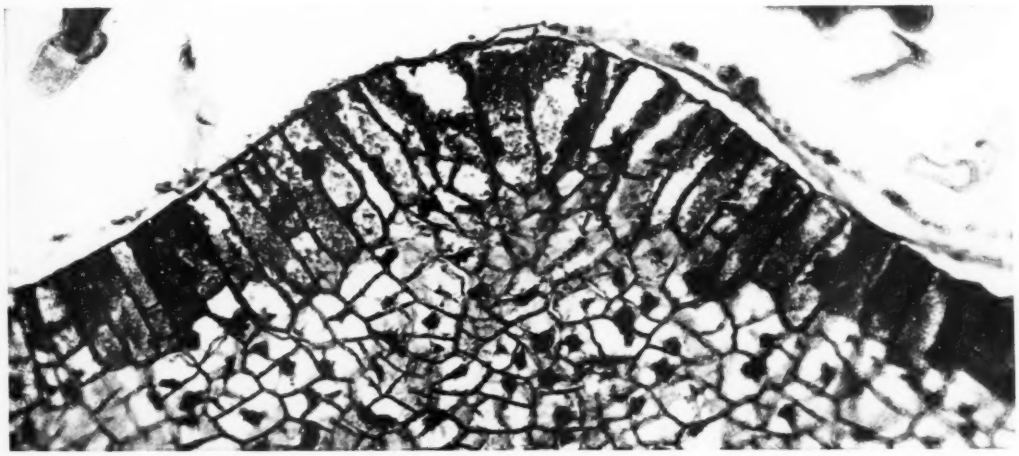


FIGURA 3 – *Apice de* Dryopteris.

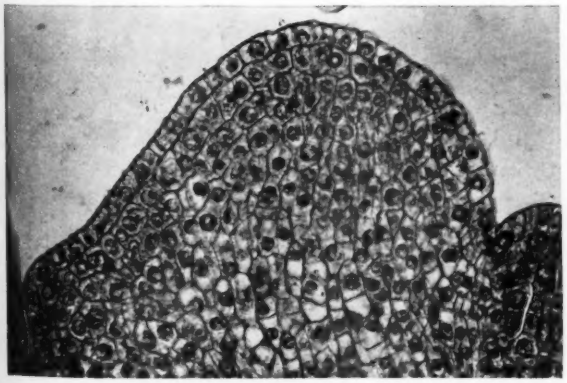


FIGURA 4 – *Apice de* Phaseolus.

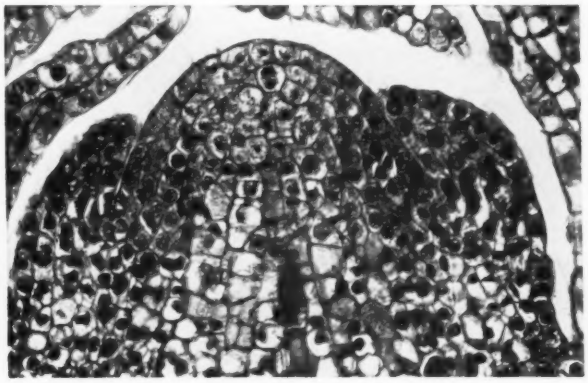


FIGURA 5 – *Apice de* Taxus.

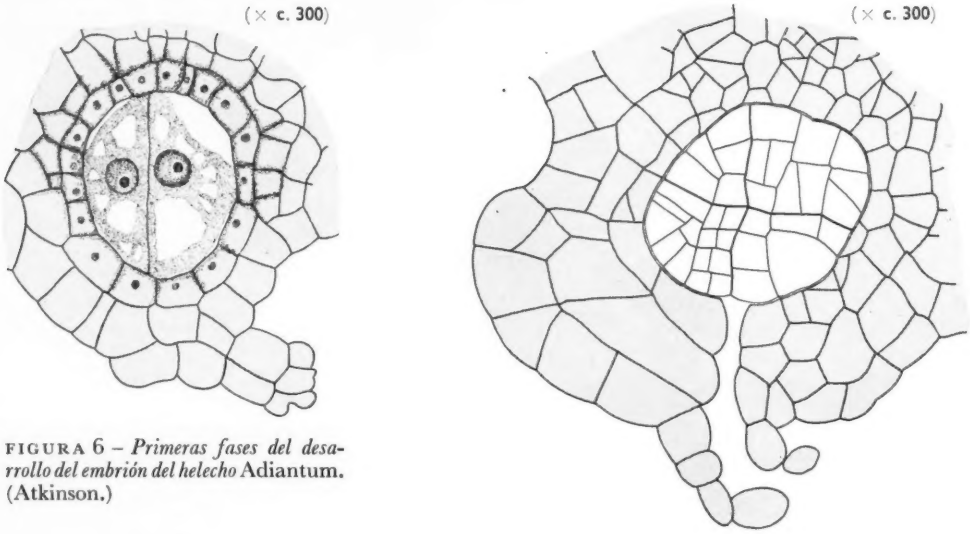


FIGURA 6 – *Primeras fases del desarrollo del embrión del helecho* Adiantum. (Atkinson.)

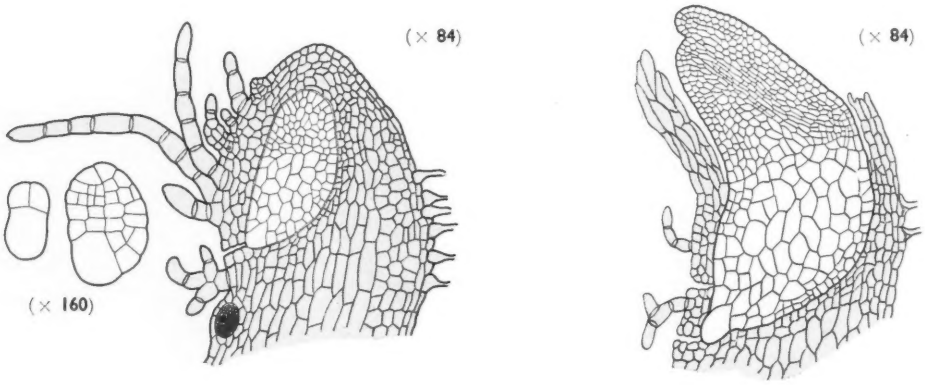


FIGURA 7 – *Fases del desarrollo embriónico de* Lycopodium selago. (Bruchmann.)

FIGURA 8 – *Fases del desarrollo embriónico de* Selaginella spinulosa. (Bruchmann.)

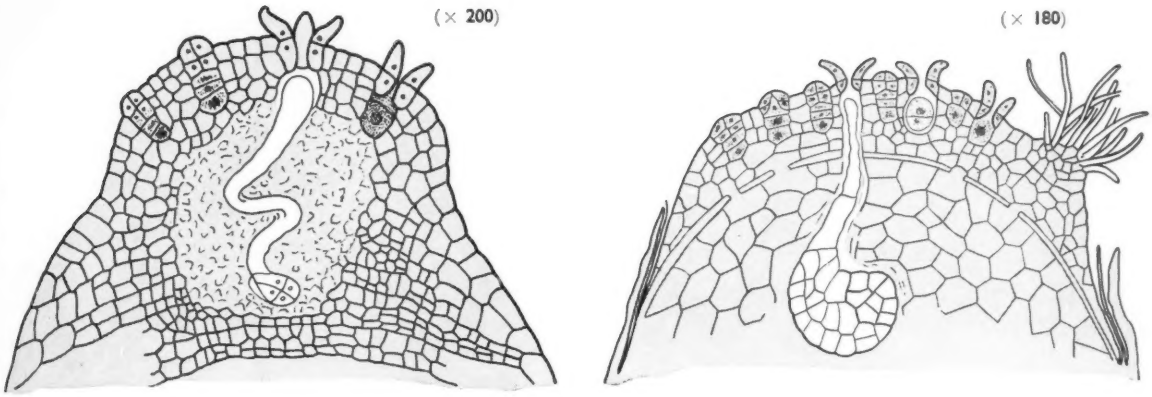


FIGURA 9 – *Primeras fases de la embriogenia de especies de* Selaginella poulteri *y* S. galeottei. (Bruchmann.)

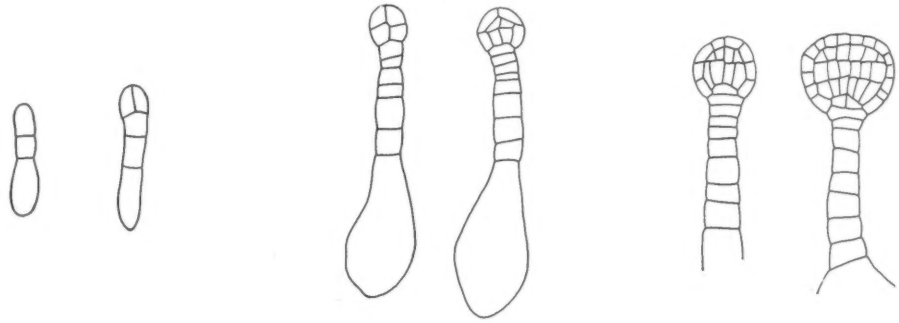


FIGURA 10 – *Primeras fases en la embriogenia de una planta de flor, el Zurrón de pastor* (Capsella bursa-pastoris). (Souèges.)

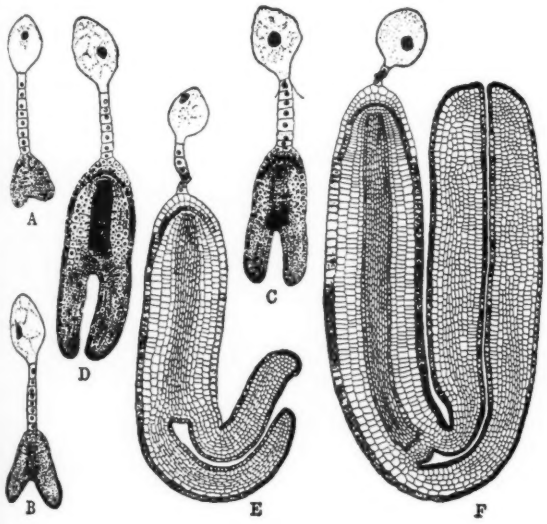


FIGURA 11 – *Fases posteriores de la embriogenia de* Capsella. (Schaffer.)

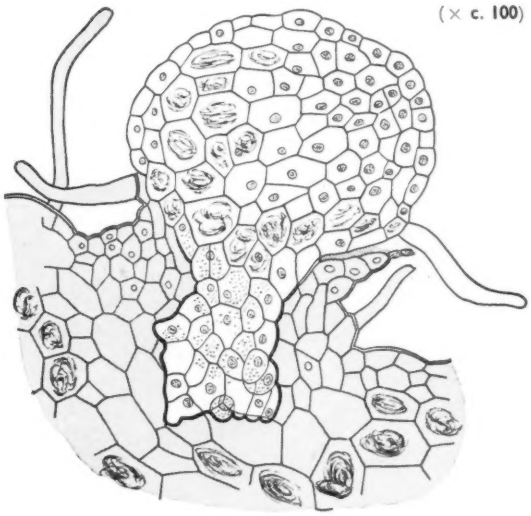


FIGURA 12 – *Embrión de* Tmesipteris, *pteridofita sin hojas ni raíces.* (Holloway.)

y qué factores internos y externos determinaban la organización estructural específica. Lo esencial de dichas investigaciones está recogido en su *Allgemeine Morphologie der Gewächse* (1868) donde trata de introducir conceptos mecánico-físicos en sus estudios morfológicos y de derivar de ellos y de los experimentos fisiológicos ciertas generalizaciones.

El enfoque de Hofmeister hacia los problemas de morfología causal no sólo era original y directo, sino que también poseía cualidades de amplitud y diversidad. Su obra incluía una presentación general del problema, en la que el crecimiento ocupaba el lugar central del cuadro; estudios sobre la incepción de los ejes y sus accesorios, esto es, la actividad formativa del meristema del tallo; la formación y filotaxia de las hojas (cuya interpretación mecanística originó él); el efecto de los factores externos (luz y gravedad) sobre la configuración de la planta; la conformación del embrión de la semilla; el efecto de los organismos invasores (la formación de agallas como procedimiento de estudio de los factores causales); el efecto del medio ambiente, como en el caso de las plantas acuáticas; y los factores que determinan la posición de los tabiques separativos en la división de las células.

En su obra *Die Lehre von der Pflanzenzelle* (Teoría de la célula vegetal), 1867, Hofmeister estableció la importante generalización de que la unidad de construcción es el organismo todo, y no las células individuales componentes. En toda su obra, las relaciones entre las formas están estudiadas como el resultado del crecimiento, procurándose investigar los fenómenos relacionados con el mismo. Es importante y justo reconocer la modernidad de las ideas generales de Hofmeister sobre la morfogénesis, siendo un hecho conocido que sus escritos precedieron considerablemente a la mecánica del desarrollo en la zoología. Así, al considerar los factores de la morfogénesis, Hofmeister insistió en que desconocidas fuerzas específicas y hereditarias tienen capital importancia. A su lado actúan otras fuerzas externas ya mejor conocidas, como la gravedad. «Y esta colaboración produce un resultado mixto: una configuración que nos permite reconocer la influencia decisiva de las segundas fuerzas (factores extrínsecos) en las características secundarias. Esto se observa con mayor evidencia en la influencia que una fuerza o un conjunto de ellas actuando en una dirección vertical ejercen sobre la forma de la planta».

Mientras la morfología comparada se iba desarrollando en beneficio de la filogenia y convirtiéndose progresivamente en una disciplina más restringida, otros investigadores continuaron el camino señalado por Hofmeister. El más importante de ellos fué Sachs, no sólo uno de los fisiólogos vegetales más insignes de su período, sino también morfólogo cuyos estudios mostraban un marcado interés en los problemas de la causalidad. Su obra *Vorlesungen über Pflanzenphysiologie*, 1882, que ejerció profunda influencia sobre los botánicos británicos, contiene numerosos ejemplos en que el desarrollo de la forma está referido a factores físicos y relaciones matemáticas. En 1877 formuló su regla de la sección rectangular, según la cual los nuevos tabiques celulares de todo tejido aparecen en ángulo recto a los tabiques ya presentes: se trataba, en efecto, de la extensión de la hipótesis de Schwendener, de 1860. Otros dos contemporáneos suyos, interesados también en la configuración de los tejidos, fueron Berthold y Errera, quienes en 1886 propusieron independientemente razones físicas para explicar la posición del tabique separatorio al dividirse una célula; en otras palabras, establecieron la base para una explicación científica de la histogénesis o desarrollo de la configuración celular. Propusieron la hipótesis de que al dividirse una célula, lo hace por medio de un tabique de área mínima, y que la causa de ello es la tensión superficial. El valor de esta y otras doctrinas relacionadas es evidente en cuanto consideramos la semejanza que existe entre las pautas de segmentación en la embriogenia de un gran número de plantas y en el meristema de las algas, briofitas y pteridofitas.

Todavía tiene otro mérito la obra de Sachs, pues propuso la teoría de la correlación química, que ha alcanzado su apogeo en los estudios botánicos y bioquímicos contemporáneos. El crecimiento y la morfogénesis son inseparables: el análisis de los procesos morfogenéticos es el análisis del crecimiento y, por tanto, del metabolismo y, en especial, de los metabolitos específicos. En las doctrinas de Sachs vemos por consiguiente el principio que ha conducido a los numerosos estudios contemporáneos sobre la bioquímica vegetal, las fitohormonas y otros temas afines.

UNA DESVIACION

Pudiera opinarse que, como resultado de las investigaciones de Hofmeister y de la búsqueda crítica que llevó a cabo en la relación entre la actividad fisiológica y la configuración, la ciencia botánica quedaba ya establecida sobre una base firme y segura, considerándose en ella a la

morfología y la fisiología como facetas inseparables del mismo tema. Después de esto era de esperar un período de rápido progreso; pero no fué así. Quizás los botánicos no estaban todavía preparados para las nuevas doctrinas de Hofmeister. El tema y los problemas propuestos presentaban enormes dificultades, y los escritos del maestro, condensados y algo abstrusos, no eran de fácil asimilación. Existía otra razón también poderosa. Darwin había publicado su «Origen de las Especies». En lo que se ha llamado el período filético, que siguió a la presentación de la teoría de la descendencia, los detalles de la embriogenia vegetal y de la forma y estructura de la planta adulta, junto con todos los datos que se podían deducir del estudio de los fósiles, se consideraban material para los estudios comparativos y para la construcción de sistemas filogenéticos. Las doctrinas de Darwin habían tenido un éxito arrollador, y los problemas mecanísticos de la morfología general y causal quedaron olvidados: la morfología comparada estaba a la orden del día y muy pronto fué considerada como una disciplina independiente. Resultado inevitable fué la formulación de concepciones de carácter puramente morfológico. Algunas, por completo divorciadas de la fisiología, resultaban, en consecuencia, también divorciadas de la realidad. A los botánicos ya no les preocupaba la pregunta: ¿ Cómo se origina la forma observada y cuáles son sus causas físicas, fisiológicas, etc.? En su lugar, el problema era: ¿ Qué relación de familia indica la forma o estructura observada y qué luz arrojan estos datos sobre el curso de la evolución? La relación entre forma y función que Sachs, y más tarde Goebel, denominaron «organografía», tenía, como es natural, importancia para todos los que asumían una posición darwiniana y postulaban la omnipresencia del fenómeno de adaptación en la vida vegetal. Por otra parte, los factores relacionados con la formación de los órganos y la diferenciación de los sistemas de tejidos continuaron inexplorados en su mayor parte.

EL RENACIMIENTO DE LA MORFOLOGIA CAUSAL

Los trabajos de la última decena del siglo XIX muestran la confianza que tenían los investigadores de morfología comparada en que dicha rama de la botánica era una ciencia completa e independiente, sin relación ninguna con la fisiología. Pero hacia la segunda década de nuestro siglo se ha producido ya cierto cambio. Los botánicos comienzan a dudar de la anterior afirmación, y dudan también de la exactitud de algunas conclusiones fundamentales de esta supuesta ciencia independiente. Comienza a sospecharse que el árbol monofilético del reino vegetal, tal como lo habían concebido algunos de los más entusiastas seguidores de Darwin, como Haeckel, en el que algas, musgos, helechos, gimnospermas y fanerógamas, se derivaban todos de un mismo tronco, no concuerda con los datos deducidos de una experiencia cada vez más amplia. En particular, la prueba de que la evolución paralela, o según la designó Ray Lankester el «desarrollo homoplástico», era muy común en el reino vegetal, y que se habían producido desarrollos e innovaciones importantes comparables en grupos que no tenían relación ninguna entre sí, parecían indicar que la concepción del árbol monofilético debía ser sustituída por una hipótesis en la que se diera debida importancia a la evolución paralela. Una vez aceptado este principio, la morfología comparada perdió terreno rápidamente.

Llegamos pues en nuestra reseña histórica a la reunión celebrada en la British Association en 1915, en la que el Profesor Lang, en su discurso presidencial, trató del tema «Morfología causal y filética», mostrando en tan notable trabajo la posición relativa de ambos aspectos, e indicando el valor precario de la morfología considerada como un estudio meramente comparativo, señaló las maravillosas posibilidades que se ofrecían en los estudios de la causalidad. Afirmó que aun en el caso de que la filogenia vegetal nos fuese enteramente conocida, los problemas de la morfología causal y general aún quedarían por resolver. Con relación al problema de los desarrollos paralelos, que habían sido el obstáculo mayor para los filogenistas, Lang tomó una posición enteramente diferente: la existencia de tantos casos de desarrollo homoplástico subraya la importancia de su estudio con relación especial a los factores que los causan. Y así, de nuevo se dirige la atención hacia los factores causales de la incepción y desarrollo de la forma y la estructura, señalándose, en particular, la importancia de estudios experimentales y fisiológicos de los procesos morfogenéticos en el meristema del tallo. Unos años más tarde, en 1923, en otro discurso presidencial a la British Association, Sir Arthur Tansley insistió en dichas observaciones. La morfología comparada dejaba de atraer a los jóvenes botánicos; el futuro de la botánica estaba en el estudio de los procesos de desarrollo, tanto en el individuo como en la raza; la tarea consistía en la determinación de las fuerzas que causan dichos desarrollos.

DE 1910 A 1930

La segunda década ofrece por tanto importancia excepcional, no tanto por los resultados obtenidos en los estudios morfogenéticos de las plantas como por las ideas orginadas en los nuevos trabajos experimentales. En 1917 se publicó el notable libro de D'Arcy Thompson *On Growth and Form* que es, ante todo, un trabajo sobre la morfogénesis que ejerció estimuladora influencia sobre un amplio círculo de investigadores. Para su autor, los organismos vivos eran entes tan misteriosos y desconocidos como para numerosos vitalistas. Pero señaló e insistió en una idea importante: tanto en las plantas como en los animales lo que estudiamos es materia; sus órganos son fragmentos de materia, y las partículas de que se componen se tienen que mover y estructurarse de acuerdo con las leyes físicas y matemáticas. Esa es su tesis principal, a la que acompañan ejemplos tomados del mundo vegetal y animal, presentados con suprema elegancia, para mostrar que numerosas formas y estructuras, de especial interés para todo morfólogo y en particular para los investigadores morfogenéticos, pueden explicarse por referencia a relaciones físicas y matemáticas relativamente simples. Lo cual no es, naturalmente, enteramente lo mismo que probar que las estructuras observadas se deben a los factores físicos ni a la relación matemática o espacial a que D'Arcy Thompson la refiere; esto ha causado severas críticas de la obra.

Hacia la misma fecha se publicó otro trabajo importante sobre la morfogénesis. Era un librito de Child, *Individuality in Organisms* (1915), en el que se establece la tesis de que los gradientes fisiológicos en las plantas y animales han sido factores de gran potencia en la determinación de su desarrollo morfológico. En años posteriores Child y sus discípulos han recogido numerosos datos sobre este aspecto de la morfogénesis, publicándose en 1941 bajo el título de *Patterns and Problems of Development* un sistema doctrinal bastante completo. Prat (1945) ha propuesto ideas bastante semejantes desde un punto de vista más restringidamente botánico.

También durante este período se ha observado gran inquietud en las ideas de los botánicos que se han especializado en la rama de la botánica comparada. Así, Bower, que en sus primeros trabajos había considerado el sistema vascular de las pteridofitas como una de las bases fundamentales para toda comparación, en 1921 afirmó en su conocido trabajo sobre el tamaño como factor poco estudiado en la morfología vascular, y en 1930 en su libro *Size and Form in Plants*, tomando ejemplos de muy distintos casos de pteridofitas, que el aumento de la complejidad vascular es paralelo al aumento de tamaño y que la clave de este fenómeno, conocido hoy como «correlación de estructura y tamaño», debe buscarse en el punto vegetativo. En 1922, en sus esfuerzos para iniciar nuevas exploraciones en el estudio de la causalidad, Bower trató de la embriogenia vegetal, mostrando que en el conjunto del reino vegetal la polaridad del organismo queda determinada en la primera división del zigote y que el desarrollo axial se halla en verdad muy generalizado: ésta era una de las notables homologías de organización a que se había referido Lang. Característica notable de este estudio era el esfuerzo por hallar pruebas experimentales sobre los procesos morfogenéticos en el embrión en desarrollo.

Con relación a este punto es quizás interesante decir unas palabras acerca de Goebel. Su gran libro, *Organographie der Pflanzen*, se publicó por vez primera en 1897, con ediciones sucesivas en 1913 y 1928, modificándose algo, al pasar los años, el enfoque del problema. Contiene una copiosísima colección de datos sobre el crecimiento y desarrollo vegetal, recogidos de las oportunas investigaciones experimentales. Estos estudios, descritos colectivamente con el nombre de Organografía, se ocupaban primeramente de la configuración de las plantas y la influencia de los factores ambientales. Contiene ideas tan aceptables hoy como esta: «el reconocimiento de los factores que producen, por ejemplo, el desarrollo de una hoja con un lado más grande que otro es más importante que la construcción de toda una hipótesis filogenética sin base factual.»

En sus primeros escritos entiende por organografía la relación recíproca de forma y función, dando importancia capital a los factores ambientales; pero en su *Einleitung in die Experimentelle Morphologie* (1908) insiste en que el estudio de la organogénesis debe ocuparse primordialmente de la historia del desarrollo del organismo individual. Los libros y numerosos estudios de Goebel son una mina en la que el estudiante actual de morfogénesis ha de hallar sin duda numerosas ideas relacionadas con sus investigaciones propias, encontrando al mismo tiempo interesantes sugerencias y valiosos datos experimentales sobre la morfogénesis.

LAS DOCTRINAS CONTEMPORANEAS

El período contemporáneo se caracteriza por ciertos avances notables y un interés creciente en el estudio de la morfogénesis.

Durante este período se han realizado extensas investigaciones anatómicas sobre los meristemas apicales y la formación de órganos en toda clase de plantas, y estudios experimentales sobre la formación de yemas, raíces, hojas y flores, sobre la filotaxis y la diferenciación de los tejidos, utilizándose métodos quirúrgicos, de cultivo de tejidos y de control de los factores ambientales. Las investigaciones sobre el crecimiento y en especial sobre la fisiología, la bioquímica y la actividad morfogenética de las substancias reguladoras del crecimiento se han orientado hacia el establecimiento de la relación entre la actividad bioquímica y el desarrollo de una determinada configuración. Durante este período se ha iniciado asimismo una nueva rama fundamental de la biología, la genética fisiológica; los textos de genética más recientes contienen por lo general un capítulo sobre la morfogénesis, y debe de haber muy pocos botánicos contemporáneos que nieguen que los factores genéticos influyen en todos y cada uno de los aspectos y fases del proceso morfogenético. La citogenética y la enzimología tienden ahora a desarrollarse conjunta y estrechamente y van entrando en relación poco a poco con la fisiología del crecimiento y con los datos que nos suministra la morfología. Las partículas herenciales, los genes, son grandes moléculas orgánicas, o agregaciones de éstas, ordenadas de determinada manera en el cromosoma, y su acción primaria en la célula vegetal es bioquímica; de hecho, ellas son las que determinan el metabolismo específico del organismo. En los desarrollos estructurales correlativos intervienen tanto las propiedades bioquímicas como biofísicas de la materia de la célula viva. El uso del microscopio electrónico, de la radiocristalografía y de otras innovaciones técnicas recientes comienza a hacer posible la exploración de la estructura submicroscópica de las substancias vivientes. Los numerosos esfuerzos realizados durante años recientes para coordinar los diferentes aspectos de la morfogénesis revelan la importancia de este tema en la ciencia botánica contemporánea.

El objeto de estudio de la morfogénesis es la región embriónica y de crecimiento de las plantas. Los estadios sucesivos del desarrollo del *ovum* fertilizado de las plantas vasculares ofrece ejemplos notables del establecimiento de un desarrollo axial, configuración celular e iniciación del tallo, hoja y raíz. Algunos aparecen ilustrados en este artículo. En cada caso, nuestra labor es explicar los factores que influyen en la producción de la estructura observada, la progresiva aparición de la forma y la unidad completa del individuo. En la práctica, los embriones de las plantas vasculares han presentado dificultades para su investigación experimental, aunque en la actualidad comienzan a aparecer ya interesantes trabajos, que serán más numerosos al emplearse las nuevas técnicas. Los investigadores morfogenéticos han estudiado una región más accesible: el meristema del tallo, en eterno estado embriónico. Como en las distintas clases de plantas vasculares, los meristemas muestran una gran diversidad histológica (Figs. 3–5), algunos con una evidente célula apical en la extrema posición terminal y otros con una construcción característica en zonas o capas; cada tipo distinto tiene su interés propio y plantea problemas especiales. Durante años recientes se han realizado numerosas investigaciones sobre el ápice del tallo con métodos anatómicos directos y, experimentalmente, por medio de técnicas quirúrgicas, del cultivo de tejidos y análisis bioquímico. La comparación de los ápices de tejidos de constitución genética conocida ofrece también amplias posibilidades. Al iniciarse la floración, el punto vegetativo sufre una transformación notable: se convierte en el lugar de formación de diversas partes florales, presentando al investigador toda una nueva serie de problemas morfogenéticos. Y, en realidad, el desarrollo de toda planta, durante el cual se manifiesta la organización característica de ésta, presenta problemas de morfogénesis para cuya solución puede necesitarse la contribución de todas las ramas del conocimiento botánico.

Revista de libros

BOTANICA

SUMMERHAYES, V. S. *Wild Orchids of Britain.* XVIII + 366 págs. con numerosas planchas en color y monocromo y dibujos a línea. Collins, Londres. 1951. 21s.

Nunca se había publicado un libro con un estudio completo, al día y ameno (pero científico, sin embargo) sobre las orquídeas británicas, ampliamente ilustrado en color y a un precio módico. La monografía del Coronel M. J. Godfery, aparecida en 1933, era cara y de ella se publicaron muy pocos ejemplares. Este libro se inicia con un estudio general de la ontogenia de la orquídea y su extraordinaria interrelación con los hongos saprofíticos. Siguen unos capítulos sobre la estructura de la flor, polinización y fertilización, distribución geográfica y ecológica, y clasificación. La sección más extensa del libro trata de los géneros, independientemente o en grupos, con una clave para la determinación de las especies, siguiendo luego un glosario, una bibliografía y una serie de mapas sobre la distribución de las especies individuales en las Islas británicas. Las planchas en color, reproducciones de fotografías, ofrecen un conjunto atrayente. Si no son de primerísimo orden, tampoco puede ello esperarse de un volumen de este precio. El texto es siempre interesante y revela el conocimiento directo que el autor posee de este tema. Contiene algunos defectos menores—erratas y afirmaciones que deben revisarse — pero sin importancia capital.

T. A. STEPHENSON

CIENCIA GENERAL

BRONOWSKI, J. *The Common Sense of Science.* 154 págs. Heinemann, Londres. 1951. 8s. 6d.

No hay muchos libros cuya lectura sea de provecho tanto para el especialista como para el profano, pero éste es uno de ellos. Está escrito, del principio al fin, con un entusiasmo contagioso. Claro es que el valor de lo que dice el Profesor Bronowski varía mucho de capítulo a capítulo. Es interesante, pero no convincente, su teoría de que artistas y científicos son en el fondo muy semejantes; o sus ideas acerca de la culpabilidad de los horrores de la guerra moderna; o cuando nos lleva a velocidad vertiginosa a través de la historia de la ciencia, en cuyo curso Ray y Linneo aparecen como símbolos taquigráficos de los biólogos sistematizadores del pasado y Darwin y su abuelo representan igual papel con relación a los teoristas de la evolución; o, en especial, cuando nos dice que la ciencia es sólo un método para establecer pronósticos razonables sobre los sucesos del porvenir a fin de que podamos preparar las medidas necesarias. La paleontología es buena prueba en contrario, pues fué creada por sabios que pensaban que el pasado tiene intrínseco interés y merece estudio por sí mismo. Pero el Profesor Bronowski no se ha asimilado totalmente el enfoque materialista de la ciencia y cuando trata de las modernas teorías de indeterminación y el efecto que probablemente tendrán sobre el pensamiento filosófico y científico, sus palabras tienen a un tiempo interés y valor: son una expresión clarividente de un tema de particular dificultad.

JOHN R. BAKER

HOLMYARD, E. J. *British Scientists.* VIII + 88 págs., con 24 retratos. J. M. Dent and Sons Limited, Londres. 1951. 6s.

Esta obra es un relato de la contribución británica al avance de la ciencia, un volumen pequeño y atrayente que ha de recibir buena acogida ya que la biografía de los hombres de ciencia parece haber despertado el interés del público.

Dos escuelas hay en relación con el estudio de la historia: la que la presenta a la luz que despiden sus héroes, y la que la considera como una progresión de ideas. Pero las ideas no progresan solas, necesitan hombres que las expresen y propaguen. En este libro se estudian algunos científicos británicos que han ocupado un lugar en la vanguardia del avance científico; además su autor nos habla de las diversas sociedades e instituciones científicas británicas que tan importante papel han tenido en el desarrollo del conocimiento científico. La selección del material incluído no puede ser mejor: los primeros capítulos tratan de las importantes investigaciones magnéticas de Gilbert, de la invención de los logaritmos de Napier, el descubrimiento de Harvey de la circulación de la sangre, la publicación de los *Principia* de Newton. Más cerca de nuestro tiempo ya, se estudia a Lister, Kelvin, Ramsay y Rutherford. La Gran Bretaña puede sentirse orgullosa de esta larga sucesión de eminentes científicos, retratados en el presente volumen. Con todo, el Dr. Holmyard ha sabido resistir a la tentación de dramatizar el tema. Los veintidós retratos son además un rasgo muy atrayente de la obra.

W. WARDLAW

COSMOLOGIA

WEIZSÄCKER, C. F. VON. *The History of Nature.* 180 págs. Routledge and Kegan Paul Limited, Londres. 1951. 12s. 6d.

Desde hace varios años el autor de este libro es bien conocido en los círculos astronómicos por su teoría del origen del sistema solar, en la cual se pone de relieve la función de la turbulencia y de las fuerzas de viscosidad, y por la aplicación de semejantes ideas básicas al más amplio problema de la evolución de las estrellas.

En esta obra le preocupa un tema aún más extenso: la historia de la naturaleza. El libro está enfocado desde el punto de vista de la interdependencia de la ciencia natural y de las disciplinas humanistas. La naturaleza es más antígua que el hombre, que se halla sujeto a sus leyes; por lo tanto, las disciplinas humanistas presuponen la ciencia natural. Por otra parte, la ciencia natural es un producto del hombre y para el hombre y, por lo tanto, presupone las disciplinas humanistas. La vida puede observarse desde dos puntos de vista opuestos, el del hombre y el de la ciencia natural.

Después de tratar de sucesos pasados de la historia terrestre, el autor considera las estructuras espacial y temporal del universo, inclinándose en favor de un universo finito en tiempo y espacio, pues considera que la doctrina de la infinitud implica el abandono del pensamiento esencialmente histórico del cristianismo. Estudia luego la formación de los sistemas estelares, sugiriendo la existencia de una evolución del desorden al orden, del caos a la forma; después pasa a la formación de las estrellas individuales y de la Tierra y a la consideración de la evolución.

Así llega al problema del origen de la vida, resultando que el ser es previo al conocer, pero que sólo mediante el conocimiento conoce el ser su existencia. El misterio de la vida y de la consciencia dan origen a las preguntas

filosóficas: ¿ Qué cualidad distingue al hombre de otros seres vivos ? ¿ Qué es el alma ? Se plantea pues la historia externa e interna del hombre y el problema de si la ciencia puede llevarnos más allá del puro conocimiento, dentro del dominio de la ética.

Libro tan estimulante, cuya lectura y aún relectura han de sernos de gran utilidad, termina con la cita de Angelus Silesius:

«Basta ya, amigo; si quieres seguir leyendo
Se tú mismo tu lectura y su significado.»

H. SPENCER JONES

FISICA

ROTHERHAM, L. *Creep of Metals.* 1 + 80 págs. The Institute of Physics, Londres. 1951. 15s.

Esencialmente un enfoque físico del fenómeno del resbalamiento de metales, este libro evita el aspecto técnico de la preparación de pruebas y omite la tabulación de las propiedades de deformación de ciertos metales. Los resultados experimentales citados sirven para ilustrar principios físicos, y las referencias se hallan cuidadosamente seleccionadas entre los numerosos y a veces aburridos escritos sobre este tema.

El estudio científico de este resbalamiento ha progresado a partir de dos puntos de vista distintos: el analítico, caracterizado por la resolución de Andrade de las fases primeras de deformación en los componentes β y K, y el sintético, del que es ejemplo la detallada consideración por Mott y Nabarro de un mecanismo especial de deformación. Hoy día las investigaciones se orientan hacia la obtención de la relación entre los componentes resultantes del análisis de la curva completa de alargamiento-tiempo y los disponibles para su síntesis. Mr. Rotherham desarrolla ambos enfoques paralelamente, ilustrando su interrelación de la mejor manera hoy posible. El único error serio en esta presentación es una cierta ausencia de claridad. Así, su descripción de la resistencia teórica de flujo de la página 21 no indica al principiante la distinción entre el cálculo de Frenkel de la resistencia de un cristal perfecto grande y el cálculo de Bragg de la resistencia de un cristal pequeño; y la presentación de la teoría de Orowan del endurecimiento del resbalamiento transitorio (pág. 40) introduce una idea derivada de la teoría de la exhaución.

A pesar de algunas faltas menores, esta obra puede recomendarse como introducción a la física del resbalamiento metálico, suficiente para el especialista y bastante apropiada para el físico general y el metalurgista.

F. R. N. NABARRO

GEOGRAFIA

LEWIS, SIR CLINTON y CAMPBELL, J. D. (Compiladores). *The Oxford Atlas.* 96 + XXVI + 88 págs. Oxford University Press, Londres. 1951. 36s.

La integración de los estudios topográficos de distintas áreas de la superficie terrestre para formar mapas de escala y proyección apropiadas a un Atlas es una tarea formidable.

A pesar de su detallismo los mapas de este Atlas son muy atrayentes. La mayoría de los países aparecen en escalas entre 1:1 000 000 y 1:18 000 000, reservándose, como es natural, las escalas más amplias para los territorios británicos. El relieve aparece representado por una gradación de matices de color muy agradable y efectiva.

Además de los mapas topográficos, otros diecisiete ilustran la distribución climática, vegetal, de poblaciones, utilización y estructura del terreno de ciertas áreas. Los mapas estructurales son de nueva preparación y se esfuerzan por «clasificar el área de acuerdo con el criterio geológico más estrechamente relacionado con su relieve, es decir: su estructura prevalente.» Esta clasificación es bastante eficaz en el caso de los mapas de escala reducida, pero conduce a divisiones extrañas y poco convenientes en los mapas más detallados de la Gran Bretaña. Un mapa geológico simplificado en el que se hubieran super-impreso datos tectónicos y geomorfológicos hubiese sido de mayor utilidad.

El Atlas está bien encuadernado y contiene un índice completo. Desgraciadamente, las erratas abundan por todas partes y será necesario revisarlas en la próxima edición.

P. F. HUTCHINS

GEOLOGIA

HOLLINGWORTH, S. E. y TAYLOR, J. H. *The Northampton Sand Ironstone: Stratigraphy, Structure and Reserves.* Mem. Geological Survey of Great Britain. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1951. 17s. 6d.

Los yacimientos ferríferos estudiados en esta memoria producen más de la mitad del mineral de hierro extraído en las Islas británicas, y aunque en el último medio siglo se han extraído más de 250 millones de toneladas de mineral, sus reservas son suficientes para otros 175 años a la producción actual de siete millones de toneladas anuales. El tema tiene por tanto primordial importancia económica. Los autores, ambos catedráticos de geología de la Universidad de Londres, han estudiado plenamente el aspecto práctico y el científico de dicho problema. La memoria es modelo de organización, claridad y concisión en la exposición de los problemas de la cantería y preparación de las capas de roca ferrífera. Algunos capítulos tratan de la estratigrafía, estructura, métodos de prospección y toma de muestras, de minería y de preparación del mineral, seguidos de un detallado estudio de los yacimientos, divido en cinco capítulos que corresponden a los distintos distritos; en éstos han colaborado otros cinco miembros del Departamento de Minas del Servicio Topográfico. En un apéndice, los autores definen los términos usados en sus descripciones de las estructuras superficiales producto de la erosión diferencial. La petrología del mineral quedó ya descrita en una memoria separada publicada en 1949.

W. J. ARKELL

INGENIERIA

ESCANDE, L. *Compléments d'hydraulique.* Parte II. 248 págs., con diagramas y fotografías. Dunod, París. 1951. 1900 frs.

Esta segunda parte, como la primera publicada por Privat en Tolosa en 1947, es una colección de monografías y estudios de interés práctico, la mayoría de los cuales han sido ya publicados antes, con menos detalles, como comunicaciones a la *Académie des Sciences* o contribuciones a los debates de la *Société Hydrotechnique de France.* El presente volumen ha de interesar particularmente a los ingenieros relacionados con las instalaciones hidroeléctricas, ya que todos estos estudios presentan un interés práctico. En una monografía el autor trata extensamente de ciertos aspectos de los efectos de martilleo que el agua causa en ciertas tuberías y de sus posibles consecuencias. Este extenso estudio fué realizado para el dique de Génissiat, para el cual también estudió el autor por un método gráfico el cierre de una válvula de mariposa bajo gran carga. Otro estudio, sobre las columnas de oscilaciones hidráulicas es también un desarrollo del conocido

método gráfico de Bergeron. Un importante capítulo trata de los problemas relacionados con las compuertas seccionales sobre vertederos. Todos estos problemas han sido estudiados con maquetas a escala y en el prototipo.

La única crítica es que, aunque la presentación de esta segunda parte ha mejorado por hallarse encuadernada, el papel es muy malo y totalmente inapropiado para las reproducciones fotográficas; y también que el texto mecanografiado produce un efecto de desaliño en un libro que en todos los demás sentidos es una obra admirable y útil.

A. GORDON-FOSTER

INSECTICIDAS

WEST, T. F., ELIOT HARDY, J. y FORD, J. H. *Chemical Control of Insects.* XI + 211 págs. Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 15s.

La destrucción de las pestes dañinas por medios químicos se ha desarrollado considerablemente durante los ochenta años que han pasado desde que se empleara por vez primera el verde de París para destruir eficazmente el escarabajo de la patata. La rapidez de dicho desarrollo se ha incrementado progresivamente según se iban descubriendo insecticidas orgánicos sintéticos, hasta que en la actualidad es imposible hallarse al día con los más recientes adelantos. Este librito parece haber sido escrito en su mayor parte hacia 1947 y en él no se mencionan muchos de los insecticidas químicos más nuevos; sin embargo, puede servir de útil introducción y guía de las substancias mejor establecidas y, con ese propósito, podemos recomendarlo sin reservas. No hay muchos libros que satisfagan esta necesidad. Pero éste se halla repleto de datos muy exactos, aunque no podemos decir que esté muy bien escrito. Los autores reconocen la existencia de otros métodos de control de los insectos, pero no los recomiendan: «Los métodos de cultivo, por lo general — escriben — sólo sirven, cuando más, de paliativos».

V. B. WIGGLESWORTH

PALEONTOLOGIA

WILLS, L. J. *A Palaeographical Atlas of the British Isles and Adjacent Parts of Europe.* Blackie and Son Limited, Londres y Glasgow. 1951. 21s.

El geólogo histórico relaciona las variaciones en la naturaleza de las rocas sedimentarias y los fósiles que contienen con sus condiciones de deposición, interpretándolas en términos de la cambiante distribución de tierras y mares. Sintetiza así los trabajos especializados del petrólogo sedimentario, del paleontólogo y del geólogo estructural; pero los datos que éstos pueden ofrecerle están limitados por la inadecuación de las exposiciones que suministran sus especímenes. Así, se nos puede ofrecer únicamente poco más que el borde levantado de una capa rocosa, borde semioculto por la tierra y la vegetación, y del que debemos deducir la variación lateral del grosor, litología, contenido faunal y relación con las formaciones subyacentes de dicha capa de roca. Naturalmente, las conclusiones paleogeográficas son imprecisas y siempre provisionales, aunque en ciertas áreas donde se realicen perforaciones se pueden comprobar las hipótesis así establecidas.

La Gran Bretaña tiene el interés de ofrecer muestras de todos los sistemas geológicos pero, por una variedad de razones, unos son mejor conocidos que otros. El Profesor Wills ha realizado una labor notable y digna de encomio al presentar en forma de mapa una serie completa de restauraciones paleogeográficas, desde el Paleozoico inferior hasta el Pleistoceno. Cada una de las 22 planchas es un resumen de una gran cantidad de datos, organizados e interpretados por un estratígrafo general de juicio y experiencia universalmente reconocidos. Es probable que, aun así, el especialista en cada sistema encuentre motivos de desacuerdo, pero Wills desarma a todo crítico posible al decir que toda contradicción de sus doctrinas debe ir acompañada de la proposición de otras más exactas. Todo profesor que utilice este mapa debe sentir gran gratitud hacia su autor, pero debe también señalar a sus alumnos cuál es el propósito exacto de la obra. Debemos añadir unas palabras de gratitud a los editores por su admirable producción.

O. M. B. BULMAN

PSICOLOGIA

STEVENS, S. S. (Compilador). *Handbook of Experimental Psychology.* IX + 1436 págs. John Wiley and Sons, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 120s.

«Treinta y cuatro científicos — nos dicen los editores — han contribuído con casi un millón de palabras a este estudio definitivo de la Neuropsicología . . . Homeostasis . . . Función endocrina . . . Medición . . . Psico-física . . . Funciones sensoriales . . . Aprehensión . . . Motivación . . . Percepción . . . Selección . . . Entrenamiento . . . Psicología experimental aplicada.»

Puede haber diferencia de opiniones sobre el valor intrínseco de «un millón de palabras» y también sobre si un texto general de Psicología experimental debe inclinarse tan decididamente como éste hacia la psicología. Pero éstas, y otras consideraciones sobre lo que debiera incluirse y excluirse, pertenecen propiamente al compilador y sus consejeros. Claramente han manifestado su proposito: no incluir todo lo que puede denominarse experimental y psicológico; permitir a los colaboradores la máxima libertad; dirigirse al especialista y al estudiante avanzado; y suministrar a éstos una obra de guía y referencia con relación a los temas de su propio campo de especialización. Todos ellos son fines razonables y el lector que los acepte no ha de quedar insatisfecho. Naturalmente no es éste un libro que se pueda analizar rápidamente. Nosotros nos hemos conformado con elegir algunos temas representativos, habiéndonos causado gran impresión la exactitud y profundidad de los estudios, la elevada calidad de la selección, y, en general, su marcada claridad. Quizás algunas secciones sean, con relación a otras, algo más livianas; pero sería injusto, en una revista tan breve, señalar cualquier contribución elogiosa o críticamente en un volumen de calidad muy elevada, que necesariamente ha de formar parte de la biblioteca en todo centro de investigación psicológica y que es probable que ocupe — y retenga durante muchos años — un lugar privilegiado como libro de referencia exacto y comprehensivo.

F. C. BARTLETT

QUIMICA

ADAMS, ROGER (Compilador). *Organic Reactions.* Volumen VI. VIII + 517 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 64s.

El Volumen VI de esta obra de referencia es cumplido sucesor de los anteriores. Los temas tratados son: la condensación de Stobbe (condensación de un aldehido o cetona con ácido succínico para dar ácidos alquilidenesuccínicos o isoméridos prototrópicos); tres artículos sobre la preparación de las isoquinolinas y sus derivados, tratando de la reacción de Bischler-Napieralski, la síntesis de Pictet-Spengler (reacción

de una β-ariletilamina con un compuesto carbonílico para dar una tetrahidroisoquinolina) y la reacción de Pomeranz-Fritsch (ciclización de un arilideneaminoacetal en una quinolina); la oxidación de Oppenauer; la síntesis de los ácidos fosfónico y fosfínico; la preparación de los compuestos organolitios por medio de la reacción de interconversión halógeno-metal; la preparación de tiazolas, tiofenos y tetrahidrotiofenos; y las reducciones por hidruro de litio y aluminio. De estos temas, la condensación de Stobbe, la oxidación de Oppenauer y el uso del hidruro de litio y aluminio son de gran interés general.

Se incluyen datos sobre la utilización y limitaciones de las diversas reacciones y también tablas de los compuestos a que se han aplicado las reacciones. Todos los capítulos alcanzan un nivel muy elevado y son de señalada utilidad para determinar el valor de una reacción dada con relación a un propósito específico. W. BAKER

BAUD, PAUL. *Traité de Chimie Industrielle.* Tres tomos; 3072 págs. Masson et Cie, París. 1951. 15 400 francos (en rústica); 17 600 (encuadernado).

La aparición de la cuarta edición de esta obra (la tercera data de 1943) es prueba suficiente de su reputación dentro de la literatura química. Está destinada a los estudiantes universitarios de los últimos cursos, pero en general es una obra de referencia para todos los que se ocupen de procesos químicos industriales. Los tres volúmenes, que pueden adquirirse separadamente, tratan respectivamente de los productos químicos pesados, los derivados de metales y metaloides, y los productos orgánicos. El texto se basa en una amplia definición de la industria química, incluyendo, por ejemplo, procesos como la refinería de azúcar, la producción de papel, la extracción de aceites esenciales y la preparación de taninos.

Como es natural, obra tan comprehensiva no puede reseñarse sino en términos muy generales. Podemos decir, sin embargo, después de haberlo verificado con varios temas, que la afirmación de los editores de que la edición anterior ha sido totalmente revisada es plenamente cierta. Los esfuerzos del autor por mantener esta obra al día son de gran servicio para los químicos, especialmente en un momento en que se da importancia creciente a los estudios tecnológicos.

ELDERFIELD, ROBERT C. (Compilador). *Heterocyclic Compounds. Volume 2. Polycyclic Five- and Six-membered Compounds containing One O or S Atom.* VII + 571 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 120s.

El segundo volumen de esta obra contiene catorce capítulos: 1, benzofurano y sus derivados (Elderfield y Meyer); 2, isobenzofurano, ftalano y ftaluro (Elderfield); 3, dibenzofurano (óxido de difenilo) (Parham); 4, tionafteno (Fukushima); 5, dibenzotiofeno (Fukushima); 6, coumarinas (Wawzonek); 7, *iso*coumarinas (Wawzonek) 8, cromonas, flavonas e *iso*flavonas (Wawzonek); 9, cromenoles, cromenos, y sales de benzopirilio: antocianinas (Wawzonek); 10, cromanones, flavanones, cromanoles y flavanoles: catequina, brazilina y hematoxilina (Wawzonek); 11, cromanos (Wawzonek); 12, xantonas, xantenos, xantidroles y sales de xantilio (Wawzonek); 13, fluoranos, fluoresceinos y rodaminas (Wawzonek); 14, tiocromanos y compuestos afines (Tarbell). Los capítulos 6 a 11 sobre los compuestos heterocíclicos de seis miembros atraerán sin duda mayor atención, ya que cubren gran número de productos naturales sobre los que aún se está investigando.

El propósito de estos volúmenes es presentar un estudio general de la química heterocíclica con atención especial a los principios en ella implicados. Sin embargo, el presente volumen estudia sobre todo los métodos de preparación y las reacciones, presentados ambos en detalle y con copiosas referencias a los escritos originales; con todo hubiera sido útil indicar los métodos más importantes.

Es inevitable que el crítico sea siempre más severo en aquellos temas en los que posee conocimiento directo, y la mayoría de los investigadores desearán consultar la literatura original. Nosotros hemos notado pocos errores; las fórmulas estructurales están bien presentadas, por lo general, pero muchas pudieran haberse simplificado mediante el uso de abreviaturas tales como Me, Et y Ph. A pesar de estas ligeras críticas, el libro recibirá con toda seguridad excelente acogida entre los investigadores. W. BAKER

SHIRLEY, D. A. *Preparation of Organic Intermediates.* x + 328 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 48s.

Este libro puede compararse con el de L. Vanino, *Präparative Chemie.* Contiene 450 preparaciones orgánicas, algunas de las cuales necesitan el aislamiento de intermediarios, tomados, con dos excepciones, de trabajos publicados. Los compuestos elegidos cumplen los siguientes requisitos: (1) El compuesto no se halla en venta o es relativamente caro; (2) su preparación no ha sido publicada en la serie *Organic Syntheses*; (3) tiene una estructura sencilla y contiene grupos funcionales que le hacen útil como intermediario, o bien su preparación implica un tipo de reacción de utilidad general. Todas las substancias iniciales son, según se asegura, asequibles y relativamente baratas, o si no su preparación está descrita en *Organic Syntheses* o en el volumen mismo.

Este ha de ser un libro útil para quienes no puedan consultar las publicaciones originales, pero la probabilidad de hallar una preparación deseada es escasa. El tipo, ecuaciones y fórmulas gráficas son excelentes; además de un índice general hay índices de fórmulas moleculares y tipos de reacción. El único error observado aparece en el sumario de la página VII.

W. BAKER

ZOOLOGIA

BODENHEIMER, F. S. *Insects as Human Food: A Chapter of the Ecology of Man.* 1–352 págs. Dr. W. Junk, La Haya. 1951. 10 Guilders holandeses.

Una de las características más notables de esta obra son los datos que suministra sobre la importancia de los insectos como fuente de proteínas, grasas, vitaminas y minerales, siendo por ello muy valiosos en países — especialmente tropicales — en los que el regimen alimenticio es vegetariano por lo general. En algunos países, la búsqueda de alimentos es una actividad constante en la vida de los habitantes, consumiéndose numerosos animales, desde los caracoles a los cocodrilos; pero los insectos, ya sean langostas, hormigas blancas o negras, orugas o sastres de agua pueden ser también fuente importante de elementos alimenticios esenciales.

El análisis de diversas clases de insectos señalados por Bodenheimer muestra que pueden suministrar cantidades asombrosas de proteínas, grasas, vitaminas, sales y minerales. Así, un análisis de hormigas blancas (termites) muestra un contenido de 44,4% de grasas y 36% de proteínas; 100 g suministran 561 calorías, de modo que

se encuentran entre los alimentos más ricos y son superiores a otros productos animales. Son también ricas en fosfatos y potasa y producen un aceite incoloro muy útil para la fritanga y con el que se puede fabricar un jabón claro y bastante duro. Otros análisis citados por Bodenheimer — de orugas, pupas de gusano de seda, langostas y otros insectos — muestran que dichas especies, que son consumidas en grandes cantidades, representan también un alto valor alimenticio. Como fuente de energía y como golosina, la miel de abejas ha sido consumida desde el período paleolítico, y el autor ha recogido gran cantidad de datos sobre la utilización de dicho alimento, métodos de utilización y almacenaje entre las distintas razas.

Otra sección interesante de esta obra es la que describe el consumo de hormigas y de hormigas de miel por los aborígenes de Australia. Las hormigas de miel, que son hormigas-obreras transformadas mediante una superalimentación que produce en el animal un abdomen hipertrofiado y lleno de miel líquida, alcanzando un tamaño de hasta 1 cm, son muy codiciadas como golosinas por los indígenas de Australia central, quienes las desentierran para chupar o tragarse su abdomen. El Profesor Bodenheimer presenta un interesante relato de estas costumbres y del significado totémico de éstos y otros insectos. No menos interesantes son las páginas dedicadas a las abejas de miel australianas (*Trigona*) y la utilización del néctar por ellas producido.

Todo lector puede, en verdad, hallar instrucción y deleite en cada página de esta obra, en la que se trata no sólo de los insectos consumidos en Australia, Africa, Asia y América, sino también de la historia del uso alimenticio de los insectos hasta nuestros días. Según el autor el interés inicial de los hombres en los insectos tuvo como causa el posible valor alimenticio de éstos, y aunque hoy no son consumidos en Europa, ello es más bien efecto de la costumbre y de los prejuicios que de una real repugnancia hacia tal alimento.

Las 47 ilustraciones añaden valor a la obra. Hay además una buena bibliografía en la que se citan numerosas y diseminadas publicaciones. Por desgracia, no hay índice; lo cual es un serio defecto en un libro que contiene tan variada información.

G. LAPAGE

Traité de Zoologie: Anatomie, Systématique, Biologie. Vol. x, Secciones I y II. 1948 págs. Masson et Cie., París. 1951. 6500 frs. cada Sección.

Con la publicación de las dos Secciones del Volumen x del *Traité de Zoologie*, que tratan de los órdenes superiores de insectos, a excepción de los coleópteros (ya estudiados en el Volumen IX), es posible formar cierto juicio sobre el valor de este imponente resumen del presente conocimiento de los insectos de todo el mundo. ¿ Qué se puede exigir de obra tal ? Un amplio estudio de todas las manifestaciones de vida entre los insectos; un amplio cuadro de la morfología comparada de los diversos tipos entomológicos; y un análisis de las características fisiológicas y ecológicas propias de cada grupo. Tan vasto es el panorama que las dos mil páginas de estos volúmenes apenas pueden recoger sus líneas generales, sintiéndose inmediatamente la necesidad de una guía de los escritos donde puedan encontrarse otros detalles.

En conjunto, todos estos propósitos se cumplen admirablemente. Todo el ámbito de la vida entomológica aparece magnificamente presentado. Las numerosas ilustraciones en blanco y negro son casi siempre excelentes; muchas de ellas son inéditas, y las antiguas han sido retocadas para conseguir uniformidad de estilo. Hay además varias reproducciones de fotografías en medio-tono y algunas planchas en color. Cada orden o sub-orden está estudiado por un autor distinto, que es a menudo una autoridad reconocida en su tema. E. Séguy trata de los dípteros, R. Poisson de los heterópteros, P. Pesson de los homópteros, L. Berland y F. Bernard de los himenópteros. Existen como es natural ciertas diferencias en el tratamiento: en la sección de los dípteros se dedica casi el mismo número de páginas a las generalidades y a los estudios sistemáticos, mientras que la sistemática de los lepidópteros ocupa poco más de un cuarto de las 270 páginas destinadas a dicho orden. La sección de los homópteros es un estudio muy científico de un sub-orden de gran dificultad; la de los lepidópteros, por J. Burgogne, aparte del admirable tratamiento del sistema reproductivo, es de carácter más popular. Algunas secciones son más útiles que otras desde el punto de vista de la referencia a otros escritos, ya que algunas abundan en generalizaciones, sin indicar su origen. Esta crítica se dirige en especial a las partes que tratan de la fisiología, pero éstas sólo podrán juzgarse efectivamente cuando aparezca el volumen VIII, en 1953, que tratará de la fisiología y ecología entomológicas.

V. B. WIGGLESWORTH

Libros recibidos

(*Nota.* La mención de un libro en esta sección no excluye su futura revista.)

BIOLOGIA

MORTON, ALAN G. *Soviet Genetics.* 174 págs. Lawrence and Wishart, Londres. 1951. 15s.

Carbon Dioxide Fixation and Photosynthesis. Symposia of the Society for Experimental Biology, No. 5. 342 págs., con varios diagramas a línea y medio-tono. Cambridge University Press, Londres. 1951. 42s.

BOTANICA

Symposium organizado por la Unión Internacional de Ciencias Biológicas. *Trace Elements in Plant Physiology.* 141 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass.; Wm. Dawson and Sons Limited, Londres. 1951. $4,50.

CIENCIA GENERAL

British Commonwealth of Nations' Scientific Liaison Offices (Editores). *Inter-Commonwealth Postgraduate Scholarships in Science.* 82 págs. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1951. 5s.

ELLIOTT, A. y HOME DICKSON, J. *Laboratory Instruments: their Design and Application.* 414 págs., con varios diagramas a línea. Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 32s.

International Conference on Science Abstracting: Final Report. 192 págs. UNESCO, París. 1951. 12s. 3d.

HOLMSTROM, J. E. *Bibliography of Scientific and Technical Dictionaries.* 227 págs. UNESCO, París. 1951. 4s.

FARMACIA

BROWN, A. W. A. *Insect Control by Chemicals.* 817 págs., con diversas ilustraciones a línea y medio-tono. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 100s.

Colloques Internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique. *Mécanisme de la Narcose.* 215 págs. C.N.R.S., París. 1951. 35s.

Pharmacopoea Internationalis (Vol. I). XVIII + 406 págs. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. 1951. 35s.

FISICA

BUTLER, J. A. V. (Compilador). *Electrical Phenomena at Interfaces.* 309 págs., con diversos diagramas a línea. Methuen and Company Limited, Londres. 1951. 32s. 6d.

DAVY, J. R. *Industrial High Vacuum.* 243 págs., con diversos diagramas a línea. Sir Isaac Pitman and Sons Limited, Londres. 1951. 25s.

DUNSHEATH, P. *The Electric Current.* 211 págs., con numerosas ilustraciones a línea y medio-tono. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1951. 18s. 6d.

EMELÉUS, K. G. *The Conductivity of Electricity through Gases.* 99 págs., con 37 diagramas. Methuen and Company Limited, Londres. 1951. 5s. 6d.

FERMI, ENRICO. *Elementary Particles.* 110 págs. Oxford University Press, Londres. 1951. 12s. 6d.

GROOT, S. R. DE. *Thermodynamics of Irreversible Processes.* 242 págs. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1951. Fl. 17,50.

GRAY, D. E. y MARTENS, J. H. *Radiation Monitoring in Atomic Defence.* 122 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Macmillan and Company Limited, Londres. 1951. 15s.

ROSENFELD, L. *Theory of Electrons.* 119 págs. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1951. Fl. 17,50.

SAWYER, R. A. *Experimental Spectroscopy* (segunda edición). 358 págs., con diversas ilustraciones a línea y medio-tono. Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 30s.

SOMMER, A. *Photoelectric Tubes.* 118 págs., con varios diagramas a línea. Methuen and Company Limited, Londres. 1951. 8s. 6d.

Vacuum Physics (Symposium celebrado por la «Midland Branch of the Institute of Physics» en Birmingham el 27 y 28 de junio de 1950). 80 págs., con diversas ilustraciones a línea y medio-tono. The Institute of Physics, Londres. 1951. 15s.

INDUSTRIA

DISERENS, LOUIS. *The Chemical Technology of Dyeing and Printing* (Vol. II). Traducido al inglés y revisado de la segunda edición alemana por Paul Wengraf y Hermann P. Baumann. 446 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 96s.

MORGAN, PHILLIP. *Plastics Progress.* Memorias y debates de la «British Plastics Convention» de 1951. 310 págs. Editado para «British Plastics» por Iliffe and Sons Limited, Londres. 1951. 50s.

NEWTON, LILY. *Seaweed Utilization.* 188 págs., con numerosas ilustraciones a línea y medio-tono. Sampson Low, Marston, and Company Limited, Londres. 1951. 21s.

INGENIERIA

PERUCCA, ELIGIO (Compilador). *Dizionario d'Ingegneria.* Vol. I, A–CER. 1052 págs., con 2200 dibujos a línea en el texto. Unione Tipografico Editrice Torinese, Turín. 1951. Liras: 12 000.

MATEMATICAS

ATTWOOD, C. *Advanced Five-figure Mathematical Tables.* 69 págs. Macmillan and Company Limited, Londres. 1951. 4s. 6d.

MEDICINA

BARLOW, FRED. *Mental Prodigies.* 256 págs. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1951. 12s. 6d.

Documenta Ophthalmologica, Vols. V–VI. 585 págs., con diversos diagramas a línea y medio-tono. Dr. W. Junk, Editores, La Haya. 1951. Fl. 72.

QUIMICA

MEYER, K. H. *Natural and Synthetic High Polymers.* 891 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Interscience Publications Inc., Nueva York. 1951. $15.

SCHREIBER, R. S. *Organic Syntheses* (*Vol.* 31). 122 págs., John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 22s.

WAHL, ARTHUR C. y BONNER, NORMAN A. (Compiladores). *Radioactivity Applied to Chemistry.* 604 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 60s.

YOUDEN, W. J. *Statistical Methods for Chemists.* 126 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 24s.

Réarrangements Moléculaires et Inversion de Walden. Colloque tenu à Montpellier, 24–29 abril de 1950. 152 págs. Centre National de la Recherche Scientifique, París. 1951.

Erratum. En la página 224 de nuestro número de octubre de 1951, el nombre de Tarlington debe leerse Turlington.

Notas sobre los colaboradores

W. J. ARROL

Nacido en 1915 y graduado en la Universidad de Londres. Su interés en los problemas químicos de las investigaciones radiactivas data de 1935. Desde 1940 a 1943 fué oficial de radar en la marina británica, incorporándose en dicha fecha al proyecto de energía atómica de Montreal. En 1945 regresó a Inglaterra y fué profesor de química en la Universidad de Londres hasta 1948. En ese año ingresó en el Establecimiento de Investigación sobre la Energía Atómica de Harwell, siendo nombrado posteriormente Jefe químico de la nueva División de Isótopos, cargo que en la actualidad ocupa.

ANDRÉ LWOFF

Nacido en 1902. Estudió en las Facultades de Medicina y de Ciencias de la Universidad de París. Miembro del *Institut Pasteur*, del que es en la actualidad Jefe del Departamento de Fisiología de los micro-organismos. Recibió una beca de la Fundación Rockefeller con la que realizó estudios en el *Kaiser Wilhelm Institut* de Heidelberg y en el *Molteno Institute* de Cambridge en 1933 y 1936 respectivamente. Profesor en la Universidad de Harvard en 1948.

Sus investigaciones han tratado del ciclo evolutivo y la morfogénesis de los ciliados, la nutrición de los protozoarios, los factores del crecimiento bacteriano y su función fisiológica, y las bacterias lisógenas. Entre sus libros se encuentran: *L'Evolution Biochimique* (París, 1944), *Problems of Morphogenesis in Ciliates* (Nueva York, 1950), y *Biochemistry of Protozoa* (Nueva York, 1951).

JOHN HANCOCK

Graduado (1935) de la Universidad de Helsingfors. Se ha ocupado en actividades investigatorias, administrativas y prácticas en la agricultura de Finlandia, Australia, Nueva Zelandia y el Archipiélago del Mar del Sur. En la actualidad es Jefe de Genética animal de la Estación de Investigación animal de Ruakura, Departamento de Agricultura, Hamilton, Nueva Zelandia.

E. BOYLAND

Catedrático de Bioquímica de la Universidad de Londres y del *Royal Cancer Hospital*, donde ha ejercido sus funciones desde 1931. Además de sus trabajos sobre la carcinogénesis y el metabolismo de los hidrocarburos, ha investigado con sus colegas la quemoterapia del cáncer y la naturaleza del metabolismo de los carbohidratos en los tumores. Antes de comenzar sus investigaciones sobre el cáncer, estudió la bioquímica del tejido muscular en el Laboratorio de Fisiología de la Universidad de Manchester y también en el *Kaiser Wilhelm Institut* de Heidelberg. Ha realizado asimismo investigaciones sobre la bioquímica de las levaduras en el *Lister Institute for Preventive Medicine* de Londres. En 1948 recibió el Premio «Judd» por sus investigaciones en Nueva York sobre el cáncer.

L. R. G. TRELOAR

Nacido en 1906. Estudió física en la Universidad de Reading. Desde 1929 a 1938 se ocupó en investigaciones sobre el desarrollo de las válvulas de radio en los laboratorios de la *General Electric Company*. En 1938 ingresó en la recién formada *British Rubber Producers' Research Association* y trabajó en el Laboratorio de Ciencia Coloide de Cambridge y, más tarde, en los laboratorios propios de la Asociación en Welwyn Garden City. Ha publicado numerosas memorias experimentales y teóricas sobre la física de la goma, y es autor del libro *The Physics of Rubber Elasticity* (Clarendon Press, 1949).

Desde 1949 es Jefe de Física de la *British Rayon Research Association* y trabaja en el Laboratorio «Davy Faraday» de la *Royal Institution* sobre las propiedades físicas de las fibras textiles.

C. W. WARDLAW

Nacido en 1916, estudió y fué luego miembro del profesorado de la Sección de Botánica de la Universidad de Glasgow durante 1918–28. Pasó luego al *Imperial College of Tropical Agriculture* de Trinidad. Desde 1940 es catedrático de Botánica criptogámica en la Universidad de Manchester. Durante los últimos diez años ha realizado investigaciones sobre morfogénesis vegetal, utilizando especialmente métodos experimentales.

SIRO TAVIANI

Nacido en Vinci en 1889, estudió medicina en la Universidad de Florencia. Ha sido Director de la Clínica de Odontología de la Universidad de Perugia de 1930 a 1942 y es miembro de numerosas academias y sociedades científicas italianas y extranjeras. Autor de más de cien artículos (en su mayor parte sobre investigaciones propias) sobre estomatología, particularmente en la especialidad de la morfología dental, habiendo presentado una nueva hipótesis sobre el origen morfológico de los dientes humanos y de la dentadura de los mamíferos en general. Es también autor de numerosas investigaciones históricas sobre Leonardo de Vinci. En la actualidad es Director del Laboratorio de Investigaciones Biológicas de la *Scuola Perfezionamento, Clinica Odontoiatrica*, de la Universidad de Roma.